

В.А. НАБЛУНОВ, О.М. САВЧУН, Н.Ф. НИРИЧКО

# **ПОДВИЖНОЙ СОСТАВ**

## **ПРОМЫШЛЕННОГО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА**

Допущено Учебно-методическим кабинетом  
Министерства черной металлургии УССР  
в качестве учебника для техникумов  
промышленного железнодорожного транспорта

КИЕВ — ДОНЕЦК  
ГОЛОВНОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО  
ИЗДАТЕЛЬСКОГО ОБЪЕДИНЕНИЯ  
«ВИЩА ШКОЛА»

1981

ББК ~~39.22.72~~  
6Т1:2  
К12

УДК 629.4:~~656.4~~(~~675.8~~)

**Подвижной состав промышленного железнодорожного транспорта.** Каблук В. А., Савчук О. М., Киричко П. Ф. Киев — Донецк: Вища школа. Головное изд-во, 1981. — 280 с.

В учебнике систематизированы и изложены в доступной форме материалы, посвященные вопросам конструкции и работы многочисленных типов железнодорожного подвижного состава промышленного транспорта, его технического содержания, ремонта, эффективного использования и дальнейшего развития. Рассмотрены принципы организации локомотивного и вагонного хозяйств, основы тяговых расчетов.

Для учащихся техникумов промышленного железнодорожного транспорта (специальности 1604 и 1609), а также широкого контингента работников, занятых эксплуатацией подвижного состава на различных предприятиях.

Табл. 32. Ил. 164. Библиогр. 38 назв.

Раздел первый написан В. А. Каблуким, раздел второй — О. М. Савчуком, раздел третий — П. Ф. Киричко.

Рецензенты: И. Т. Чабанюк (Минпермет УССР) и Б. П. Ситников (Ждановский механико-металлургический техникум).

Редакция Головного издательства при Донецком государственном университете.

Зав. редакцией М. Х. Тахтаров.

**Виктор Агапиевич Каблук,**  
**Орест Макарович Савчук,**  
**Николай Федорович Киричко**

### **ПОДВИЖНОЙ СОСТАВ ПРОМЫШЛЕННОГО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА**

Редактор В. И. Нетреба. Переплет художника В. О. Шестаковского. Художественный редактор С. Р. Ойхман. Технический редактор В. М. Авдеенко. Корректоры Л. И. Зотова, Н. Р. Харламова.

Информ. бланк № 4196

Сдано в набор 12.12.80. Подп. в печать 24.08.81. БП 13607. Формат 60х90/16. Бумага тип. № 1. Лит. гарн. Выс. печать. 17,5. печ. л. 17,5 кр.-отт. 19,17 уч.-изд. л. Тираж 1900 экз. Изд. № 4470. Зак. 629. Цена 85 к.

Головное издательство издательского объединения «Вища школа», 252054, Киев-54, ул. Го-голевская, 7.

Белоцерковская книжная фабрика республиканского производственного объединения «По-ліграфкняга», 256400, г. Белая Церковь, ул. Карла Маркса, 1.

К 31802—121  
М211(04)—81 240—81. 3602030000.

© Издательское объединение  
«Вища школа», 1981.

## Раздел первый

### ЛОКОМОТИВЫ И ЛОКОМОТИВНОЕ ХОЗЯЙСТВО

#### Глава 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

#### § 1. Назначение, классификация и основные технико-экономические показатели локомотивов

Локомотивом называют силовую тяговую машину, предназначенную для перемещения вагонов в рельсовой колее и выполнения всех функций по управлению движением поезда. От других видов самоходного подвижного состава железных дорог локомотивы отличаются тем, что в них не размещаются грузы или пассажиры.

Для пуска в ход и ускорения поезда локомотив должен создавать *силу тяги*, что обеспечивается главным образом за счет передачи его колесам вращающего момента от специально установленных двигателей. Для этой цели возможно также использование реактивных или магнитных сил, получаемых соответственно от реактивных или линейных электрических двигателей.

Для замедления и остановки поезда необходима *сила торможения*. Ее может создавать не только локомотив, но и прицепленные к нему вагоны, чем достигается высокая эффективность торможения. Однако энергия в последнем случае поступает от локомотива, который снабжает сжатым воздухом тормозную систему поезда, а также пневматические устройства механизмов разгрузки некоторых типов вагонов.

Следовательно, для выполнения своих функций локомотивы должны расходовать определенное количество энергии, которую одни из них (электровозы, тяговые агрегаты) получают от внешних источников; другие (тепло-, мото- и паровозы) имеют собственные энергетические установки.

В зависимости от способа получения энергии локомотивы промышленного транспорта классифицируют на следующие типы:

**электровозы**; снабжаются энергией от внешних источников (электростанций) и с помощью тяговых электродвигателей передают вращающий момент собственным колесным парам;

**тяговые агрегаты**; состоят из электровоза управления и присоединенных к нему самоходных вагонов, колесные пары которых получают вращающий момент от тяговых электродвигателей.

тепловозы; в качестве источника энергии используется diesel, расположенный непосредственно на локомотиве;

газотурбозы; имеют энергетическую установку в виде газовой турбины;

мотовозы; их силовыми установками являются карбюраторные или дизельные двигатели автомобильных типов;

— паровозы; оборудуются котлом с топкой для получения энергии от сжигания топлива и паровыми машинами для преобразования этой энергии в механическую.

По роду службы различают локомотивы *магистральные*, обслуживающиеся по железным дорогам общего пользования, и *промышленного транспорта*, обслуживающие пути предприятий. Первые из них, в свою очередь, делятся на грузовые, маневровые и пассажирские, а вторые — на маневровые и вывозные. Часть серий локомотивов применяется как на магистральном, так и промышленном транспорте.

Кроме того, различают локомотивы широкой колеи (1520 мм) и узкоколейные (750 мм, 1000 мм и др.). Их классифицируют также по ряду других признаков, о чем будет сказано ниже.

Выбор типов и параметров локомотивов для работы на заданном (конкретном) предприятии производят путем сравнения их *техничко-экономических показателей*, основные из которых — коэффициент полезного действия (к. п. д.), мощность, сила тяги, сцепной вес, конструкционная скорость и пр. Эти показатели приводят в технических характеристиках всех силовых тяговых машин.

Коэффициент полезного действия характеризует процент энергии топлива, используемый для движения локомотива и поезда. Целесообразность применения данного тягового средства во многом зависит от величины к. п. д. Самый низкий такой коэффициент у паровоза — всего 4—7%. У тепловозов он равен 28—31%, что и предопределило переход на большинстве предприятий с паровозной тяги на тепловозную.

К. п. д. электровоза существенно зависит от начальных потерь энергии на внешнем источнике, в линиях передач и др. Так, его коэффициент полезного действия при получении энергии от тепловых электростанций составляет около 20%, а при снабжении от гидроэлектростанций — в три раза выше.

Среди локомотивов промышленного транспорта наиболее высокие показатели имеют тяговые агрегаты. К примеру, мощность одного из них — ПЭ1 — равняется 5460 кВт (часовой режим), тогда как мощность грузового магистрального электровоза ВЛ10 составляет 5200 кВт. Сила тяги указанного агрегата — 680 кН, а электровоза (примерно той же мощности) — 384 кН. Следовательно, агрегат постоянного тока ПЭ1 развивает силу тяги на 75% выше, что связано с особыми условиями работы локомотивов промтранспорта на горнодобывающих предприятиях (в карьерах), когда поездка большого веса нужно вести по крутым подъемам на сравнительно короткие расстояния. При этом скорость движения более низкая, чем на железных дорогах общего пользования.

В нашей стране выпускается значительное количество серий электровозов и тепловозов промышленного транспорта. Их технико-экономические показатели изменяются в широких пределах, что позволяет выбирать локомотивы для предприятий на основе соответствующих расчетов с целью снижения себестоимости перевозки грузов.

## **§ 2. История развития подвижного состава промышленного транспорта**

Первый локомотив (паровоз) в России был построен в Нижнем Тагиле (1834 г.). Отец и сын Черепановы, народные мастера-умельцы, создали паровоз, который возил по «колесопроводам» (рельсам) тележки (вагоны), груженные медной рудой. Однако это знаменательное событие в развитии промтранспорта не было поддержано царскими властями по причине консерватизма и неверия заводчиков в творческие силы народа. Только спустя полвека началось повсеместное вытеснение конного транспорта железнодорожным (с паровой тягой).

Вплоть до 60-х гг. нашего столетия паровая тяга была основной как на промышленном, так и магистральном (общесетевом) транспорте. Данному обстоятельству во многом способствовали сравнительная простота конструкций, неприхотливость к виду топлива и другие преимущества использования паровозов в условиях невысокого уровня технической базы предприятий.

Еще на заре Советской власти по инициативе В. И. Ленина началась планомерная широкая электрификация промышленности и транспорта. Первый серийный электровоз в СССР был построен в 1925 г. Механическую часть изготовил Мытищенский вагоностроительный завод, а тяговые двигатели — Московский завод «Динамо».

С 1935 г. приступили к выпуску унифицированных промышленных электровозов постоянного тока типа ПКП, IVKP, которые успешно использовались на карьерах и вывозных путях ряда предприятий.

В послевоенные годы добыча полезных ископаемых открытым способом значительно расширилась. Потребность во все более мощных тяговых средствах неуклонно возрастала. Из ГДР и ЧССР в нашу страну, по соглашениям в рамках Совета Экономической Взаимопомощи, были осуществлены крупные поставки электровозов постоянного тока.

Важную роль в дальнейшем совершенствовании подвижного состава сыграл Днепропетровский электровозостроительный завод. Здесь разработаны промышленные электровозы переменного тока и основные типы тяговых агрегатов, которые по своим техническим данным не уступают лучшим мировым образцам.

Развитие тепловозостроения в нашей стране также относится к годам становления Советской власти. Первые в мире тепловозы по проекту проф. Я. М. Гаккеля были построены на заводах Ленин-

града в 1924 г. До 1956 г. они поставлялись преимущественно для дорог Средней Азии, где применение локомотивов с паровой тягой затруднялось в связи с дефицитом водных ресурсов.

После принятия XX съездом КПСС (1956 г.) решения о прекращении выпуска паровозов отечественное тепловозостроение начало развиваться ускоренными темпами. В сравнении с электровозной тягой переход на тепловозную требовал меньших капитальных затрат.

Особенно быстрыми темпами внедряется тепловозная тяга после принятия в 1971 г. постановления ЦК КПСС и Совста Министров СССР «Об улучшении работы промышленного железнодорожного транспорта». К примеру, по Министерству черной металлургии СССР в 1971—1977 гг. тепловозов в общем локомотивном парке увеличилось с 48 до 72%, а паровозов уменьшилось с 37 до 13%. Число же электровозов осталось примерно на одном уровне — 15%.

Решениями XXV съезда КПСС предусмотрено к 1981 г. завершить перевод всех локомотивных парков, промтранспорта на прогрессивные виды тяги — электровозную и тепловозную.

*Строительство специальных вагонов* имеет более чем вековую историю. Еще в 1868 г. рабочие Александровского завода в Петербурге изготовили двухосный вагон для балласта. Привод для опрокидывания кузова емкостью 3 м<sup>3</sup> был ручным. Этот вагон — прообраз современных мощных вагонов-самосвалов.

В годы довоенных пятилеток впервые строились вагоны с цельнометаллическими кузовами и с широким применением электросварки. В послевоенный период вагонный парк промышленных предприятий практически полностью обновился. Созданы большегрузные специальные вагоны, обеспечивающие высокую производительность перевозок и механизацию погрузочно-разгрузочных работ.

Большое распространение получила транспортировка расплавленных и горячих грузов. Ряд вагонов используется как для перевозок, так и выполнения различных технологических операций: тушения кокса, разливки стали в изложницы, взвешивания шихты и др. Все это, естественно, способствует росту эффективности работы предприятий.

Наряду с совершенствованием подвижного состава должен непрерывно повышаться уровень его технического содержания и обслуживания. Если на крупных предприятиях с мощными железнодорожными цехами локомотивные и вагонные службы получили должное развитие, то на многих объектах со средними и малыми объемами перевозок достигнутые показатели в этой области не соответствовали современным требованиям, что привело к удорожанию транспортных операций, низкому использованию технических средств, замедленному росту производительности труда.

Для устранения указанных недостатков на первом этапе были созданы объединенные железнодорожные хозяйства, обслуживающие все примыкающие к данному району заводы, фабрики, строительные управления (кроме крупных предприятий с большими объемами перевозок). Благодаря таким хозяйствам — прогрессив-

ной форме технического содержания локомотивов и вагонов — резко повысилась производительность, уменьшились простои машин и оборудования. В итоге за последние годы оказалось возможным сократить парк подвижного состава этих хозяйств при значительном увеличении объема перевозок.

На втором этапе (1978 г.) было принято решение об образовании Главного управления промышленного транспорта МПС с подчинением ему объединенных железнодорожных хозяйств, что позволило проводить единую техническую политику.

К дальнейшему совершенствованию работы локомотивных и вагонных парков призывают Основные направления экономического и социального развития СССР на 1981—1985 годы и на период до 1990 года: «На промышленном транспорте повысить темпы реконструкции и технического перевооружения, улучшить использование подвижного состава...»<sup>\*</sup>.

## **Контрольные вопросы**

1. Для чего предназначены локомотивы и каковы их основные функции?
2. Какие типы локомотивов применяют на железнодорожном транспорте?
3. Почему паровозы заменяют другими типами локомотивов?
4. Как развивалось строительство подвижного состава в нашей стране?
5. В чем преимущества объединенных железнодорожных хозяйств и какую роль играет подчинение их МПС?

## **Глава 2. ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ТЯГА И ЭЛЕКТРОВОЗЫ ПРОМЫШЛЕННОГО ТРАНСПОРТА**

### **§ 3. Преимущества и особенности электрической тяги**

Электровозы заслуженно считают наиболее эффективным видом локомотивов как на магистральном, так и промышленном транспорте. Электротяга получила широкое распространение в карьерах, где особо тяжелые условия для работы. Она позволяет повысить вес и скорость движения поездов за счет допускаемой кратковременной перегрузки электровоза в 2—3 раза по отношению к номинальной (часовой) мощности, что, в свою очередь, дает возможность преодолевать крутые подъемы до 40‰ (в отдельных случаях до 60‰), легко трогать состав с места, быстро наращивать скорость.

Кроме того, снижается стоимость транспортировки, так как электровоз имеет высокий коэффициент полезного действия (~20% при энергоснабжении от тепловых электростанций), не потребляет энергии во время стоянок и может возвращать (рекуперировать) ее в сеть при торможении поезда.

Электровоз не пугается в экипировке топливом, постоянно готов к работе. В условиях низких температур его работоспособность не снижается, а наоборот, повышается, поскольку улучшается охлаждение тяговых двигателей. Последнее обстоятельство особенно важно для районов севера и северо-востока нашей страны.

<sup>\*</sup> Материалы XXVI съезда КПСС. М., Политиздат, 1981, с. 173.

Несколькими электровозами можно управлять с одного поста по системе многих единиц. В тяговых агрегатах с электровоза осуществляется также управление двигателями вагонов-самосвалов.

Указанные преимущества обусловили строительство специальных электровозов: *карьерных* (эксплуатируются при открытом способе добычи полезных ископаемых, на внутризаводских и вывозных путях предприятий) и *узкоколейных* (применяются в лесной и торфодобывающих отраслях, на отдельных горных разработках). Для вывозной и передаточной работы крупных промышленных объектов успешно используют также *магистральные электровозы*.

Однако электровозная тяга имеет свои недостатки. Это, во-первых, высокие затраты на строительство и эксплуатацию устройств энергоснабжения, необходимость регулярного переноса контактной сети в забоях и на отвалах, повышенные расходы в путевом хозяйстве (использование рельса в качестве обратного провода усложняет конструкцию пути). Во-вторых, сам по себе электровоз не является автономным локомотивом, т. е. он «привязан» к контактной сети. Наконец, в-третьих, применение высоковольтного энергоснабжения требует обеспечения безопасности и защиты от коррозии подземных сооружений.

Тем не менее применение электротяги во многих случаях оказывается экономически выгодным и технически целесообразным.

#### § 4. Энергоснабжение электрифицированных железных дорог

Общая схема питания электрифицированной железной дороги показана на рис. 1. От электростанции 1 (или подстанции предприятия) по проводам линии электропередачи 2 (ЛЭП) перемен-

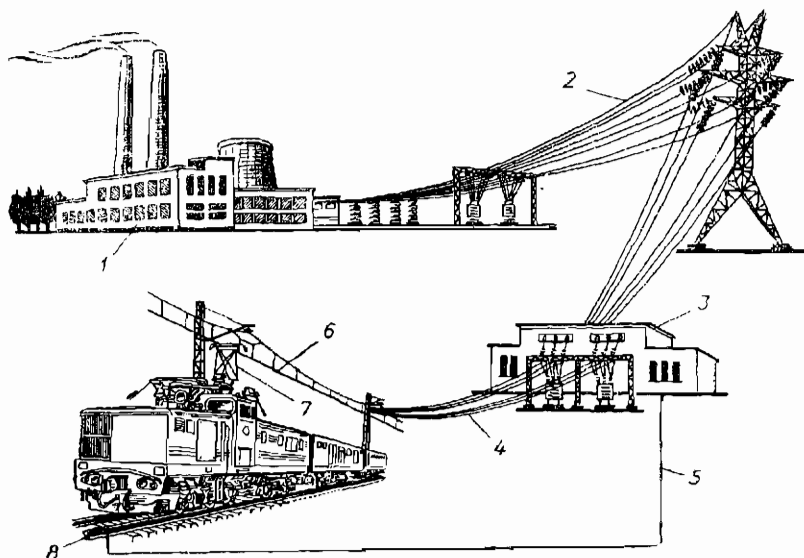


Рис. 1. Схема энергоснабжения железной дороги.

ный трехфазный ток промышленной частоты 50 Гц передается на тяговую подстанцию 3, где напряжение понижается до величины, требующейся для контактной сети, а переменный ток преобразуется в однофазный постоянный. От подстанции плюсовая фаза через питающую линию 4 подключается к контактному проводу 6, а минусовая фаза через отсасывающую линию 5 - к рельсовой цепи 8. Тяговые двигатели и другие потребители получают энергию с токоприемника 7 и отдают ее через ходовые части электровоза в цепь 8.

Для системы электроснабжения промтранспорта *постоянного тока* ГОСТ 6962—75 устанавливает две величины напряжения в контактной сети: 1500 и 3000 В (напряжения на питающих линиях подстанций соответственно должны быть 1650 и 3300 В).

На магистральном транспорте для системы постоянного тока также принято напряжение 3000 В. Однако на давно электрифицированных и узкоколейных железных дорогах предприятий встречаются другие его значения: 550, 750 и 1200 В. Такая разнотипность создает определенные трудности в снабжении агрегатами и запасными частями, что необходимо учитывать при реконструкции заводов, фабрик или рудников.

Существует также система энергоснабжения железных дорог промтранспорта *переменным однофазным током* частотой 50 Гц и напряжением 10 кВ. Тяговая сеть в данном случае принципиально похожа на показанную выше (см. рис. 1). Но здесь от тяговой подстанции отводят три фазы (рис. 2). Одна из них подключается к рельсовой цепи, а две другие — к контактной сети, где обязательно имеется изолятор, разделяющий (секционирующий) фазы этой сети друг от друга.

Значительная часть железных дорог магистрального транспорта также электрифицирована переменным током частотой 50 Гц, но с более высоким напряжением — 30 кВ. На некоторых узкоколейных дорогах принято напряжение 6 кВ.

Тяговые подстанции промтранспорта могут быть стационарными или передвижными. Первые из них либо совмещаются с пониженно-распределительными подстанциями промышленных пред-

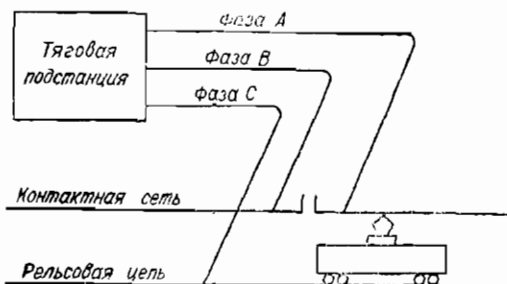


Рис. 2. Схема энергоснабжения трехфазным переменным током.

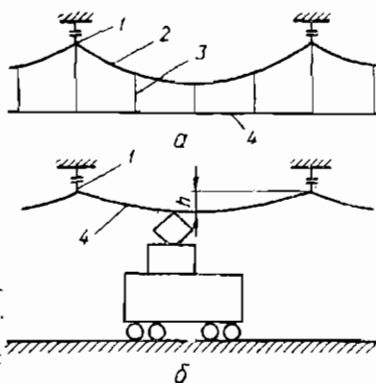


Рис. 3. Подвески контактного провода:  
а — цесная; б — простая продольная.

приватий, либо строится отдельно. Каждая передвижная тяговая подстанция постоянного тока мощностью 2800 кВт и напряжением 1150 В состоит из двух вагонов, в которых размещено все необходимое оборудование, а также предусмотрены мастерская и служебные помещения. На подстанциях постоянного тока обычно установлены главный силовой трансформатор, обеспечивающий понижение напряжения, ртутные выпрямители для преобразования переменного тока в постоянный, аппаратура управления и защиты.

Тяговые подстанции переменного тока отличаются тем, что в них отсутствуют выпрямители, но зато применены компенсирующие устройства (блоки статических конденсаторов), которые устраняют неравномерную нагрузку фаз.

*Контактная сеть* представляет собой специальный провод, подвешенный на опорах. Его нижняя поверхность, с которой производится токосъем, должна быть гладкой, а для крепильных устройств на проводе предусмотрены желобки. Такой провод марки КФ (контактный фасонный) может быть медным или сталеалюминевым сечением 65, 85 и 100 мм<sup>2</sup>.

Для обеспечения постоянного контакта между токоприемником локомотива, движущегося с высокой скоростью, и контактным проводом желательно, чтобы последний располагался строго горизонтально и имел минимальные провесы. Этим условиям отвечает *цепная подвеска*, схема которой показана на рис. 3, а.

К изолированным подвесным устройствам 1 крепится несущий стальной трос 2, а к нему посредством струнок 3 подвешен контактный провод 4. Длина струнок берется такой, чтобы данный провод находился на одинаковом расстоянии от уровня головок рельсов.

Цепная подвеска, допускающая высокие скорости движения поездов (до 200 км/ч), принята единой на электрифицированных магистральных железных дорогах нашей страны. В промышленном же транспорте она не нашла широкого распространения, поскольку здесь не требуются значительные скорости, а устройства контактной сети должны быть по возможности дешевыми и простыми.

Повсеместное применение на предприятиях получила *простая продольная подвеска* (см. рис. 3, б). Контактный провод 4 крепится непосредственно к поддерживающим конструкциям 1. При этом неизбежны большие колебания его высоты (провесы), величина которых зависит от расстояния между опорами сети, натяжения провода и температурных условий. В летний период из-за теплового расширения провод удлинится, так называемая стрела провеса  $h$  возрастет, а в зимних условиях уменьшится.

Если величина  $h$  не регулируется никакими устройствами, подвеска контактного провода считается жесткой. Простая такая подвеска применяется редко; скорость движения электровозов в данном случае ограничивается до 30 км/ч.

Распространена простая подвеска с винтовым компенсатором (рис. 4, а). Участок (секция) непрерывного контактного провода 1, подвешенного на опоры 2, имеет по концам изолированные от него винтовые стяжные муфты 3, (на схемах это показано в виде

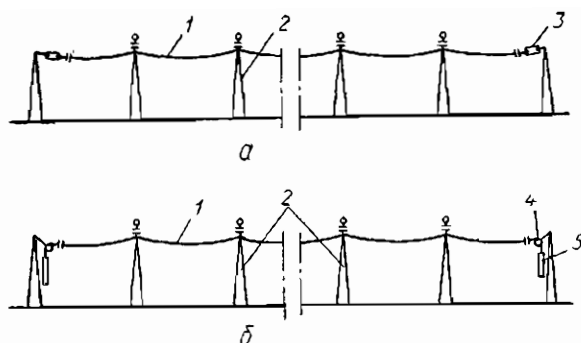


Рис. 4. Схемы регулирования натяжения контактного провода.

разрывов). Натяжение провода регулируется путем вращения в ту или иную сторону обоймы муфты. Обычно весной его стягивают, а осенью отпускают. Данный способ регулирования называют сезонным. Скорость движения поездов при такой подвеске ограничивается до 40 км/ч.

Значительно лучшей является компенсированная подвеска с автоматическим регулированием натяжения контактного провода 1 (см. рис. 4, б). По концам его секции устанавливают блоки 4 и натяжные грузы 5. Количество последних определяется расчетом. При этом обеспечивается неизменное натяжение с минимальной стрелой провеса. Скорость движения поездов — 50—60 км/ч, напряжения в контактном проводе — до 3 и 10 кВ соответственно при постоянном и переменном токе.

На участках, где не предусмотрены погрузочно-выгрузочные операции, провод подвешивают непосредственно над серединой колес на высоте 5,5—6,5 м от верхней поверхности головок рельсов (рис. 5, а). Поддерживающими конструкциями чаще всего служат железобетонные, стальные, иногда деревянные опоры с консольными устройствами. По отношению к оси пути провод располагается зигзагообразно со смещением на 300 мм то в одну, то в другую сторону, чем достигается равномерность износа контактных вставок токоприемников электроваз.

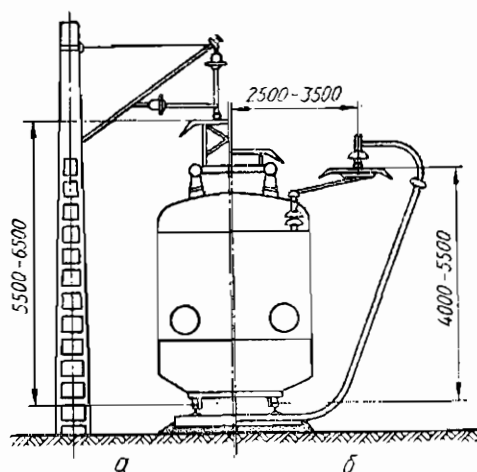


Рис. 5. Устройство опор контактной сети центральном (а) и боковом (б) расположения контактного провода.

На участках погрузки-выгрузки провод не может находиться над осью пути. Поэтому промышленные электровозы оборудованы специальными токоприемниками, позволяющими размещать его сбоку на расстоянии 2,5—3,5 м от указанной оси при высоте 4—5,5 м (см. рис. 5, б). На забойных и отвальных передвижных путях карьеров боковая контактная сеть подвешивается на бесфундаментных или специальных С-образных опорах конструкции института Тяжпромэлектропроект, которые постоянно скреплены с рельсами и передвигаются вместе с ними (см. там же).

## § 5. Обеспечение электробезопасности и защита подземных сооружений

Контактная сеть и питающиеся от нее локомотивы находятся под высоким электрическим напряжением. Поэтому все работники, связанные с эксплуатацией тяговой сети и подвижного состава, должны четко усвоить и беспрекословно выполнять правила охраны труда и техники безопасности.

Важную роль играют быстродействующие разъединители, автоматические выключатели, блокирующие контакты, предохранители и другие специальные устройства, которые устанавливаются на тяговых подстанциях и электроподвижном составе с целью защиты оборудования и обеспечения безопасности при возникновении аварийных режимов.

Большое значение уделяется защите подземных сооружений предприятия от вредного воздействия обратных токов, возвращающихся на отсасывающие линии тяговых подстанций через рельсы, которые не изолируются от шпал и путевого балласта. Возможное распространение в земле этих токов, называемых *блуждающими*, происходит по направлениям наименьшего электрического сопротивления.

Обычно под землей на территории предприятия расположено довольно много различных коммуникаций — трубопроводов, кабельных линий с металлической оболочкой и пр. Попадая на них, блуждающие токи могут вызвать интенсивную коррозию. Поэтому рядом нормативных инструкций предусматривается обязательная *антикоррозионная защита* подземных сооружений.

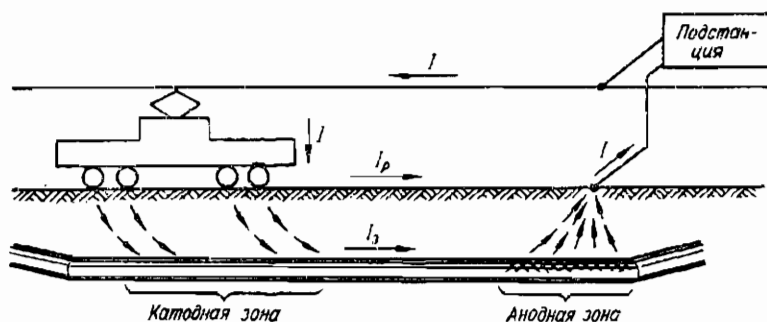


Рис. 6. Схема прохождения блуждающих токов.

Электрокоррозия образуется только в отдельных местах подземной коммуникации — там, где токи выходят из нее (рис. 6). От электровоза одна их часть ( $I_p$ ) направляется по рельсам, а другая ( $I_z$ ) — по земле. Неизолированная труба служит хорошим проводником, и блуждающие токи устремляются к ней. Зона, куда они входят, называется катодной. Здесь коррозия вообще отсутствует (затормаживается). В зонах же выхода токов (анодных), обычно вблизи тяговых подстанций, она происходит интенсивно.

Предохранение коммуникаций от электрокоррозии включает в себя мероприятия по ограничению утечки токов, пассивную и активную защиту подземных сооружений. Названное ограничение — это качественное приращение между стыками рельсов специальных соединений из медной проволоки. При малом электрическом сопротивлении рельсовой цепи утечка токов в землю уменьшается.

Пассивная защита коммуникаций направлена на недопущение проникновения в них блуждающих токов. Все подземные трубопроводы и кабели должны по возможности удаляться от железнодорожной линии и покрываться стойкими электроизоляционными покрытиями.

Активная защита заключается в принудительном отводе блуждающих токов с подземного сооружения на рельсы, для чего от предполагаемой анодной зоны к ним прокладывается специальный провод (дренаж). Ток на рельс будет идти не через землю, а по этому проводу. Следовательно, анодная зона исчезнет с поверхности сооружения, и электрокоррозия прекратится. Зачастую в дренажную перемычку ставят полупроводниковый вентиль, который пропускает ток только в одну сторону — от сооружения на рельс.

В последние годы, кроме того, эффективно применяется так называемая катодная защита, когда специальным источником тока создают на подземной коммуникации одноименную (катодную) зону. Электрокоррозия зависит от величины тока, расходуемого локомотивом. В свою очередь, потребляемый ток обратно пропорциональный напряжению в контактной сети. Поэтому чем выше это напряжение, тем меньше опасность коррозии.

При системе энергоснабжения переменного тока напряжением 10 кВ электрокоррозия практически не проявляется. Однако возникает другое — помехи в линиях связи, что вынуждает прокладывать их в экранированных кабелях.

## **§ 6. Классификация электровозов промышленного транспорта**

Парк электровозов промышленного транспорта отличается большой разнотипностью, так как их проектирование и строительство производилось несколькими организациями и предприятиями в нашей стране, а также за рубежом (ГДР и ЧССР).

По характеру выполняемой работы различают:

— карьерные электровозы и тяговые агрегаты, действующие на открытых разработках месторождений полезных ископаемых;

— маневровые промышленные электровозы, которые обеспечивают движение поездов внутри предприятий и маневрово-вывозные операции на подъездных путях;

— специальные и рудничные электровозы, работающие на узкоколейных дорогах горной, торфодобывающей и лесной промышленности, а также в шахтах и рудниках.

По принятой системе энергоснабжения существуют электровозы *постоянного и переменного тока*, причем первые из них могут предназначаться для различного по величине напряжения контактной сети.

По способу питания энергией электровозы бывают:

- *контактные* (с энергоснабжением от контактной сети);
- *контактно-аккумуляторные*, которые на электрифицированных участках пути питаются от контактной сети, а на неэлектрифицированных — от аккумуляторных батарей, расположенных на локомотиве;
- *контактно-дизельные*, оборудованные дизель-электростанцией, подающей энергию на участках, где нет контактной сети;
- *контактно-кабельные*, питающиеся на неэлектрифицированных участках через специальный кабель, намотанный на барабан, имеющийся на электровозе.

Последние из перечисленных тяговых средств не получили практического распространения. Другие электровозы двойного питания (контактно-аккумуляторные и контактно-дизельные) находят применение, так как могут работать автономно на неэлектрифицированных участках, не требуют установки передвижной контактной сети на забойных и отвальных путях карьеров. Недостаток здесь — удорожание стоимости электровоза, что, однако, во многих случаях компенсируется снижением затрат на электрификацию передвижного пути.

Электровозы классифицируются также по следующим своим особенностям.

Конструкция ходовых частей характеризуется *колесной формулой*, состоящей из цифр, индексов и знаков сочленения. Цифрами \* обозначают число осей в каждой тележке; нижний индекс «0» показывает, что все оси имеют привод от тяговых двигателей; знак «+» ставится тогда, если тележки сочлененные (сосоединены механически между собой).

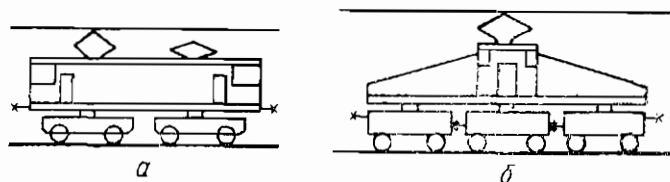


Рис. 7. Схемы общего устройства электровозов.

\* Иногда вместо цифр применяют заглавные буквы латинского алфавита.

Колесная формула электровоза (рис. 7, а) выглядит как  $2_0-2_0$ , т. е. в первой тележке две моторные оси, во второй — столько же, а между собой тележки не сочленены. Формула  $2_0+2_0+2_0$  означает: три двухосные тележки, они сочленены друг с другом, все оси моторные (см. рис. 7, б). Иногда первая и последняя цифры выражают количество направляющих немоторных осей, которых на электровозах, как правило, нет. При такой записи колесные формулы локомотивов, показанных на рис. 7 (а и б), соответственно будут иметь следующий вид:  $0-2_0-2_0-0$  и  $0-2_0+2_0+2_0-0$ .

По габаритам кузова различают электровозы с *кузовами вагонного типа* (см. рис. 7, а) и с *пониженными* (см. рис. 7, б). Последние оборудованы постами управления (кабинами), совмещенными в средней части кузова, что исключает переходы машинистов при изменении направления движения.

Электровозы классифицируют также по сериям и паспортным данным. Эти характеристики будут приведены в гл. 7.

## **§ 7. Перспективы развития электротяги на промышленном транспорте**

Одно из основных направлений развития промышленного транспорта — дальнейший рост его провозной способности (производительности). На открытых разработках месторождений особо важным является обеспечение движения поездов большого веса по крутым подъемам. При глубине карьера 300 м (она постоянно увеличивается) и уклоне пути 30‰ расчетная длина выезда составляет 10 км. При той же глубине и уклоне 80‰ эта длина равна 3,75 км, что даст большой экономический эффект (за счет уменьшения объема вскрышных работ, сохранения пахотных земель и др.).

Наиболее подходящими для эксплуатации в таких трудных условиях оказались электровозы и тяговые агрегаты переменного тока напряжением 10 кВ. Преимущества данной электротяги определяют перспективность ее применения на ряде горно-обогатительных комбинатов. Большинство крупных карьеров, введенных в строй за последние 10 лет, работает именно на переменном токе.

При реконструкции действующих предприятий, использующих электротягу постоянного тока, во многих случаях экономически целесообразно не изменять систему энергоснабжения. Следует лишь повысить напряжение в контактной сети с 1500 до 3000 В (без коренных перестроек), что позволит уменьшить в ней токи, эксплуатировать более мощные электровозы и тяговые агрегаты, поднять весовые нормы поездов наряду с увеличением уклонов пути. Зачастую это мероприятие выгодно еще и тем, что локомотивы могут вывозить составы на станции примыкания МПС, электрифицированные на то же напряжение.

Развитие полупроводниковой техники обусловило принципиально новые способы регулирования работы тяговых двигателей.

Создаваемые в настоящее время электровозы постоянного и переменного тока с тиристорным управлением имеют отличные тяговые свойства и высокие экономические показатели.

Перспективным направлением является развитие электровозов двойного питания, которые могут работать в цехах и на передвижных путях, не оборудованных контактной сетью. Лучшие из них — контактно-аккумуляторные. Они удобны в обслуживании, не создают шума и не загрязняют окружающую среду. Однако широкое их распространение станет возможным при наличии высококачественных, надежных и компактных аккумуляторных батарей большой емкости.

### Контрольные вопросы

1. Каковы преимущества и недостатки электровозов?
2. Чем отличаются системы энергоснабжения постоянного и переменного тока?
3. Как устроены стационарная и передвижная контактные сети?
4. Какие виды защиты должны быть предусмотрены на электрифицированных дорогах протранспорта?
5. Как классифицируют электровозы двойного питания и в чем их преимущество?
6. Что означают колесные формулы  $3_0 - 3_0$  и  $2_0 + 2_0$ ?
7. Какой тип электровозов и тяговых агрегатов целесообразно применять на вновь строящихся и реконструируемых предприятиях с системой постоянного тока 1500 В?

## Глава 3. МЕХАНИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ ЭЛЕКТРОВОЗА

### § 8. Общие сведения

Все оборудование электровоза разделяют на две части: механическую и электрическую. К первой из них предъявляются следующие основные требования: обеспечить необходимую прочность, надежность, простоту обслуживания и высокие эксплуатационные показатели.

Одно из главных правил — соблюдение *безопасности движения*. Это значит, что конструкция локомотива как при нормальных условиях эксплуатации, так и отклонении от них не должна допускать аварийных ситуаций (сход с рельсов, разрушение ходовых частей, самоотцеп от поезда, отказ тормозов и т. д.).

Большое значение уделяется стандартизации и унификации деталей механической части. Требования на их изготовление, а также соответствующие параметры регламентированы государственными стандартами, что обеспечивает необходимое качество, надежность и взаимозаменяемость при ремонте.

Конструкции ударно-тяговых приборов и пневматических тормозов унифицированы для различных типов подвижного состава. Они будут рассмотрены в гл. 22 и 28.

## § 9. Тележки

Промышленные электровозы должны беспрепятственно проходить кривые малого радиуса. Для этого колесные пары размещают в двухосных тележках, которые могут поворачиваться в горизонтальной плоскости относительно кузова. В них же размещены тяговые двигатели с осевым приводом, рессорное подвешивание, часть тормозного оборудования электровоза.

Колесная пара (рис. 8) с буксовыми узлами 2 сочленена с рамой 4 посредством специальных направляющих кронштейнов 3, так что между осями двух колесных пар поддерживается постоянное расстояние (2400 мм). Этот размер называют базой (или жесткой базой) тележки. Рессорное подвешивание включает в себя систему пружин и рессор 5, которая обеспечивает передачу нагрузки от рамы 4 на колесные пары. Сочленение тележки с кузовом осуществляется через шкворневой брус 7. Каждый из тяговых двигателей 6 и 8 передает вращение на одну колесную пару. Такой привод называют индивидуальным. Тормозное оборудование 9 обеспечивает снижение скорости и остановку локомотива.

Конструктивно тележки электровозов существенно различаются друг от друга. Одна из них, показанная на рис. 9, относится к числу несочлененных. Усилия тяги она передает сначала на кузов, а с него через автосцепные устройства — на состав. Существуют также сочлененные тележки, которые передают усилия непосредственно друг на друга и на состав. Ударно-тяговые приборы расположе-

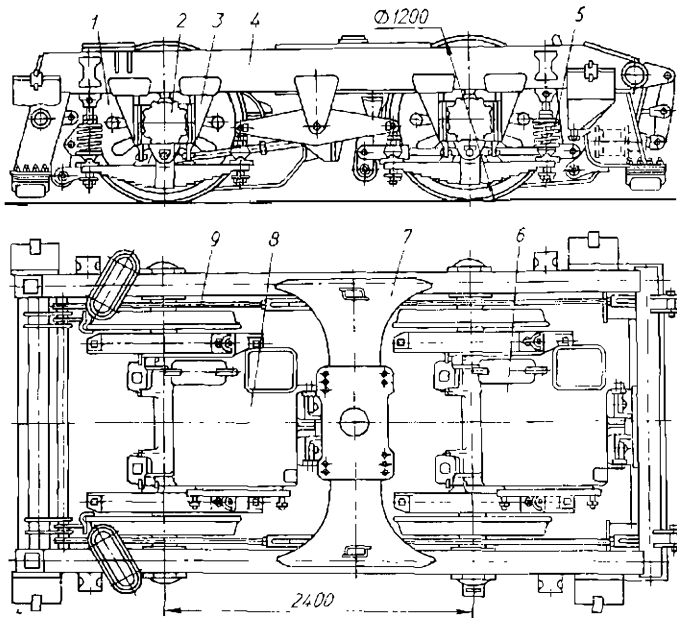


Рис. 8. Тележка электровоза переменного тока Д100м.

ны на рамах крайних тележек, что позволяет освободить кузов от участия в передаче продольных сил.

Колесные пары обеспечивают создание сил тяги и торможения электровоза за счет сцепления с рельсами, воспринимают все нагрузки со стороны локомотива и пути, а также направляют его движение по рельсовой колее.

Колесная пара (рис. 9) состоит из нескольких элементов — оси 1, двух колесных центров 2 с бандажами 3 и двух зубчатых колес 4.

Ось изготавливается из специальной стали, отличающейся высокими механическими качествами. Консольная часть этой детали (шейка) служит для размещения буксовых подшипников. Находящаяся под удлиненной ступицей колесного центра часть оси называется подступичной. Вслед за ней, ближе к середине оси, располагается вторая шейка — для моторно-осевого подшипника.

Вся ось подвергается тщательной механической обработке, а поверхности шейки и подступичной части упрочняют еще путем накатки. Отличия роликовой оси от другой — для буксовых подшипников скольжения (см. рис. 9) — заключаются в различной конструкции, а также в размерах шеек и торцовых креплений.

Колесные центры выполняются литыми, двух- или однодисковыми. Удлиненные ступицы центров позволяют насаживать на них зубчатые колеса тягового привода. Бандажи 3 изготавливаются из твердой и высокопрочной стали, так как они контактируют с рельсами небольшой площадкой, через которую передаются значительные усилия — статические и ударные.

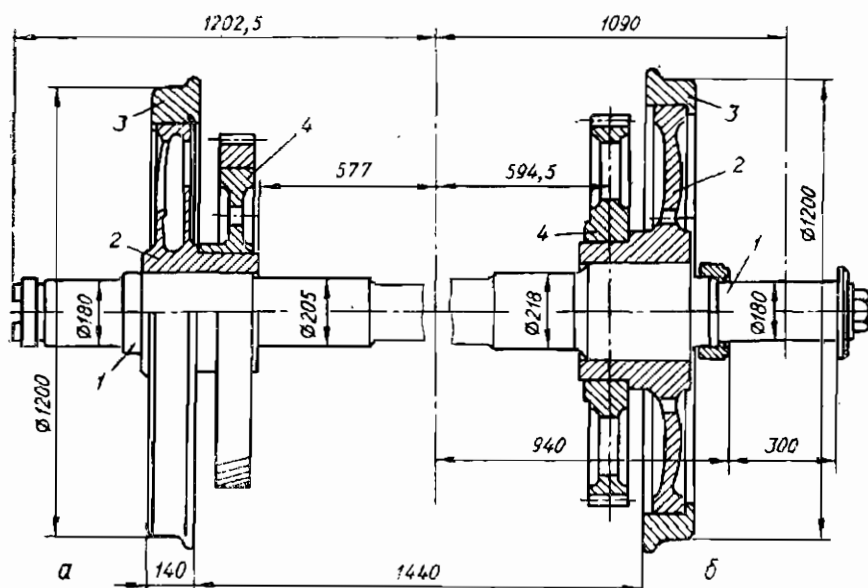


Рис. 9. Колесная пара электровоза:  
а — для роликовых подшипников; б — для подшипников скольжения.

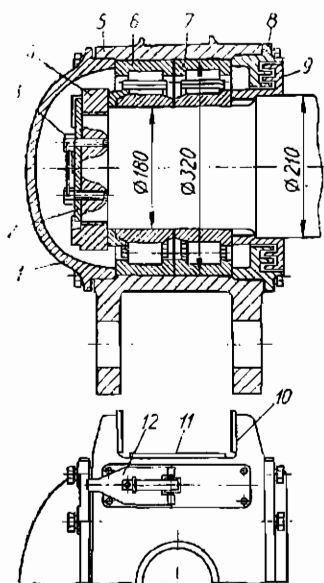


Рис. 10. Роликовая букса электровоза.

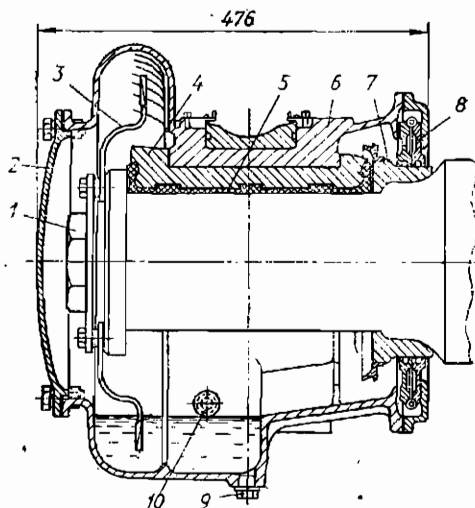


Рис. 11. Букса с подшипником скольжения (на электровозе).

Все элементы колесной пары сочленены друг с другом посадкой с натягами при помощи напрессовки (центр 2 с колесом 4) либо посредством теплового соединения (бандаж 3 с центром 2).

Букса обеспечивает минимальный коэффициент трения между шейкой оси и подшипником, а также постоянную смазку трущихся поверхностей и защиту их от внешней среды. Вместе с тем она передает все нагрузки на вращающуюся ось колесной пары.

Различают буксы с подшипниками скольжения и с роликовыми. Последние обладают большей надежностью и низким коэффициентом трения, особенно при трогании электровоза с места.

На рис. 10 показана конструкция роликовой буксы. На шейку оси тепловым способом устанавливают с натягом лабиринтное кольцо 9 и два однорядных подшипника 6 и 7. С передней части шейки навинчивают корончатую гайку 4, стопорят ее планкой 2, которая вставляется в одну из выемок на торце гайки и в паз на торце оси, после чего крепится двумя шпильками 3. Подшипники снаружи закрываются корпусом 5, имеющим заднюю лабиринтную и переднюю крепительную крышки — 8 и 1.

Внутри полости буксы при ее монтаже закладывается консистентная (полужидкая) смазка, которая работает длительное время и заменяется только при периодическом ремонте электровоза. Для сочленения с рамой тележки корпус 5 имеет по бокам два П-образных углубления — челюсти. Их поверхности подвергаются интенсивному истиранию, поэтому они оборудуются сменными закален-

ными пальниками 10 и 11, к которым поступает смазка из небольших емкостей (карманов) 12.

В последние годы спроектированы и применяются бесчелюстные буксы, которые сложнее по конструкции, но менее изнашивающиеся.

Подшипник скольжения 4 (рис. 11), установленный в тележках электровозов старой постройки, охватывает верхнюю часть шейки оси. Контактная поверхность выполнена из слоя антифрикционного материала баббита 5, обеспечивающего хорошую прирабатываемость и низкий коэффициент трения при наличии масляного клина — тонкого слоя смазки между подшипником и шейкой оси.

Заливка смазки, запас которой (около 5 л) находится в нижней половине корпуса буксы 6, производится через пробку 10, а слив — через пробку 9. С помощью лопаток 3 смазка забрасывается в верхнюю часть буксы и стекает к шейке оси по специальным пазам. Кольцо с гайкой 1 ставится для восприятия поперечных горизонтальных сил, действующих на ось. Защита от внешней среды осуществляется крышкой 2, упорным кольцом 7 и затворным устройством 8. В некоторых конструкциях кроме верхнего подшипника букса оборудуется еще коротким нижним, работающим только в аварийной ситуации (при сходе колесной пары с рельсов).

Буксы с подшипниками скольжения в сравнении с роликовыми имеют невысокую надежность и требуют постоянного ухода в эксплуатации.

Рессорное подвешивание тележек электровозов промышленного транспорта выполняется в виде системы пружин и листовых рессор. Последние обеспечивают не только смягчение, но и гашение колебаний за счет внутренних сил трения между листами рессоры.

Нагрузка от рамы тележки (рис. 12, а) передается на верхнюю плоскость пружин 3, от них через специальные тяги 2 — на листовую рессору 1, а отсюда — на потолок буксы. Если каждая колесная пара связана со своей системой рессор, подвешивание называется несбалансированным.

Подвешивание же, показанное на рис. 12, б, является сбалансированным: средняя рессора 1 опирается хомутом на специальный шарнир, укрепленный на раме тележки, а концами связана с тягами обеих крайних рессор. Сущность баланспровки заключается в следующем. Если, например, левая колесная пара по какой-либо причине получает перегрузки, то через внутренние тяги и среднюю рессору половина их передается на правую пару, вследствие чего улучшается сцепление колес с рельсами и снижается вероятность пробуксовки.

Роль балансира в рессорном подвешивании электровоза переменного тока играет двуплечевой горизонтальный рычаг, установленный посредине тележки (см. рис. 9).

Рама тележки объединяет в единое целое все ее узлы и детали, передает вертикальные и поперечные нагрузки на колесные пары. Усилия тяги и торможения от последних также воспринимаются рамой и сообщаются либо непосредственно ударно-тяговым при-

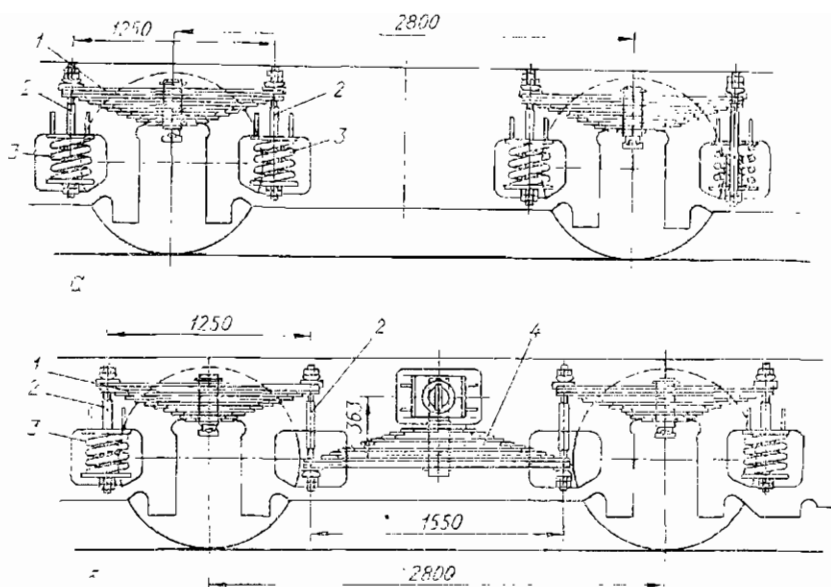


Рис. 12. Рессорное подвешивание средней тележки шестиярусного электроваза.

борам (у сочлененных тележек), либо рамс кузова электроваза (у несочлененных). Кроме того, на нее же полностью или частично опираются тяговые двигатели.

Рама тележки сочлененного типа (рис. 13) сваривается из двух боковин 3 и 10, связанных между собой тремя поперечными брусками: передним 8, шкворневым 6 и задним 2. Брус 6 воспринимает нагрузку от кузова, передаваемую на средине опоры (подпятники) 4 и 7 и боковые — 5 и 11. Эта нагрузка сообщается затем боковинам, которые через систему рессорного подвешивания опираются на буксы колесных пар. По концам данных боковин в нижней части крепятся предохранительные бруска 1 и 9, срывающие случайно оказавшиеся на пути предметы (в основном куски груза) и воспринимающие силы, возникающие при сходе тележки с рельсов.

Передний и задний поперечные бруска в средней тележке называются брусками сочленения, так как к ним крепят соответствующие детали. В крайних тележках один поперечный брус (с торца электроваза) именуется буферным (в нем устанавливают ударно-тяговые приборы), а другой — брусом сочленения.

Устройство для сочленения тележек (рис. 14) обеспечивает не только надежное соединение и передачу тяговых усилий, но и предотвращает перекосы тележек в рельсовой колес. Верхняя часть устройства — сцепной прибор — состоит из двух смазываемых шкворней 1 и 4, скрепляющих с брусками сочленения стальную штангу 3, которая и является соединяющим элементом. Ее узлы 2 и 5 допускают повороты как в горизонтальной, так и в вертикальной

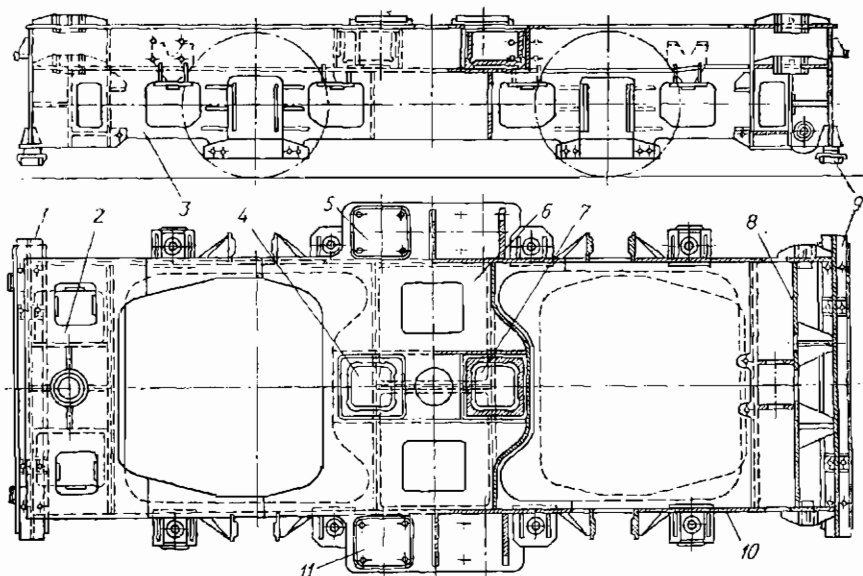


Рис. 13. Рама тележки сочлененного типа.

плоскости, для чего предусмотрены шаровые шарниры. В нижней части имеется возвращающее устройство, состоящее из водила 7, один конец которого жестко закреплен в стакане 8, а другой установлен в перемещающемся гнезде 6, связанном с пружинами (на рис. 14 не показаны), стремящимися удерживать в центральном

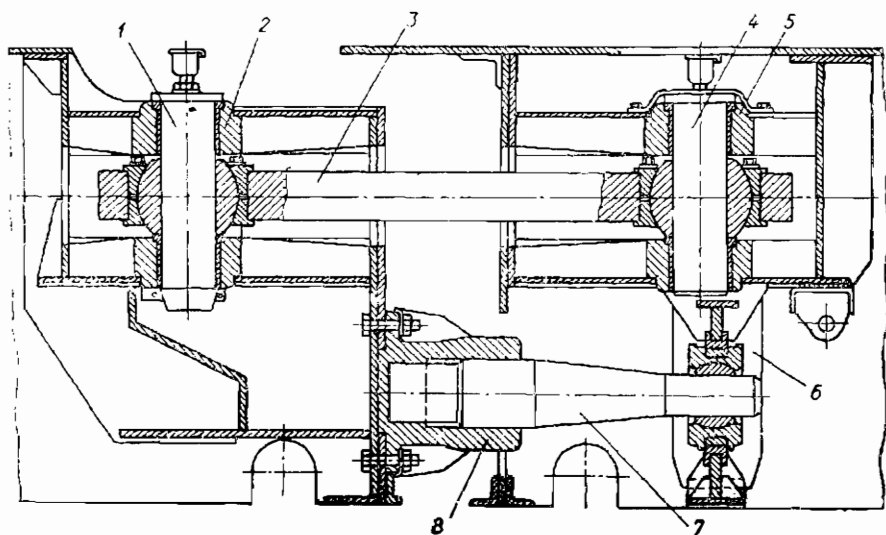


Рис. 14. Устройство для сочленения тележек.

положении упомянутое водило, но допускающим его повороты в обе стороны, если электровоз проходит кривые участки пути.

## § 10. Устройство тягового привода

Тяговые двигатели создают вращающий момент, который с помощью соответствующего привода должен передаваться колесным парам электровоза. Конструкция тягового привода зависит от способа подвешивания двигателя. Существуют два таких способа: опорно-осевой и опорно-рамный.

При *опорно-осевом подвешивании* (на рис. 15 вид сверху) тяговый двигатель 2 упруго присоединяется с помощью специального кронштейна 5 и системы пружин 4 (или резиновых элементов) к одной из поперечных балок рамы тележки 3. На другой стороне двигателя имеются два разъемных подшипника 8 и 11, которыми он крепится к внутренним шейкам 9 и 10 вращающейся оси колесной пары (указанные подшипники защищены кожухами и обеспечены смазкой). При таком подвешивании расстояние между осями двигателя и колесной пары неизменно, что позволяет применять с двух сторон одноступенчатую зубчатую передачу: на концы вала двигателя надеты косозубые шестерни 1 и 6, а на ступицы напрессованы колеса 12 и 7. Зубчатые передачи также защищены кожухами и снабжаются смазкой.

Недостатком опорно-осевого подвешивания является жесткое крепление стороны двигателя, прилегающей к оси. Однако в условиях сравнительно невысоких скоростей движения на промышленном транспорте, когда ускорения неподрессоренных масс невелики, данный привод работает надежно. Его преимущество — простота конструкции и удобство в обслуживании. Опорно-осевое подвешивание — основное для электровозов промтранспорта.

*Опорно-рамное подвешивание* характерно размещением тяговых двигателей на раме тележки или даже под главной рамой кузова. На оси колесной пары устанавливается одноступенчатый редуктор, который связан с валом двигателя при помощи карданного вала либо кулачковой муфты, допускающих взаимные смещения этих валов. Такой тип передачи весьма сложен по устройству. Он нашел применение только в электроподвижном составе магистрального пассажирского транспорта.

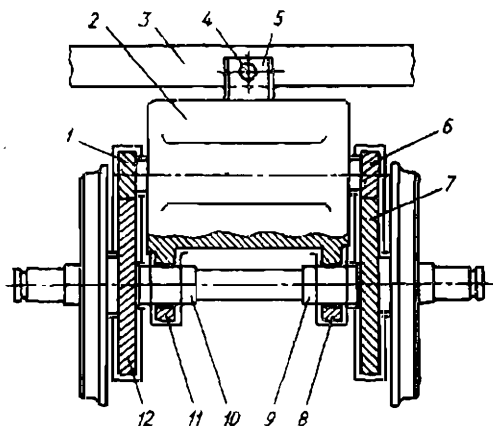


Рис. 15. Схема опорно-осевого подвешивания тягового двигателя электровоза.

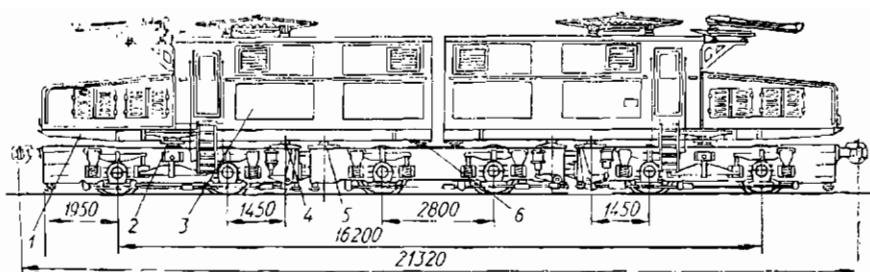


Рис. 16. Электровоз серии ГЛ1.

## § 11. Кузова электровозов

Кузова предназначены для размещения оборудования и защиты его от внешних воздействий, а также для устройства кабины машинистов и постов управления.

Преимущественное распространение получили кузова будочного типа (пониженные), обеспечивающие обзор в обе стороны с центральной кабины. Применяются также кузова вагонного типа, в которых удобнее располагать электрооборудование.

В электровозах с сочлененными тележками кузов выполняет функцию восприятия только вертикальных нагрузок. Такие кузова, особенно для шестиярусных электровозов, выполняются из нескольких секций. Каждая из них имеет свою раму 1 (рис. 16), цельнометаллические стены 3 и крышу, где крепятся токоприемники. На тележках секция удерживается благодаря двум (передней и задней) поворотным пятниковым опорам 2 и 6, расположенным в продольной плоскости симметрии. От боковых поперечных колебаний кузов предохраняют скользящие опоры 4 и 5. Секционирование в данном случае улучшает вписывание электровоза в кривые.

Современные кузова, изготавливаемые в виде тонкостенных сварных несущих конструкций, способны воспринимать значительные вертикальные и продольные нагрузки. Поэтому тележки выполняются несочлененными.

## Контрольные вопросы

1. Какие требования предъявляются к механической части электровоза?
2. Как устроена тележка и ее элементы: колесные пары, буксы, рессорное подвешивание?
3. Для чего служит устройство сочленения тележек?
4. Как передается вращающий момент от тягового двигателя на колесную пару?
5. Может ли кузов состоять из нескольких секций, если тележки несочлененные?

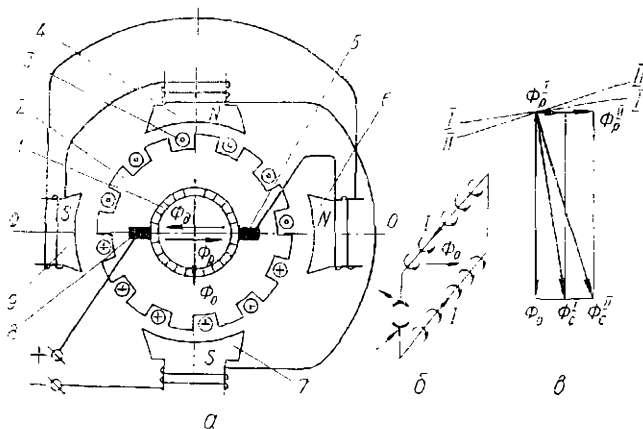
### § 12. Тяговые электрические машины

Все электродвигатели и генераторы, используемые на электро-возах и тяговых агрегатах, делятся на тяговые двигатели и вспомо-гательные машины. Первые из них, преобразуя электрическую энергию в механическую, обеспечивают передачу вращающего мо-мента на колесные пары и создают силу тяги локомотива. Они же, работая в генераторном режиме, могут отбирать энергию от колес-ных пар и осуществлять торможение электровоза.

Рассмотрим назначение основных частей электродвигателя на примере простейшей двухполюсной электрической машины (рис. 17, а). В пазах якоря 2 уложены секции обмотки 3, концы которых распаяны на коллекторных пластинах 1. Через щетки 8 и 5 к кол-лектору подводится постоянный ток. Главные полюса 4 и 7 с уста-новленными на них катушками возбуждения создают основной магнитный поток  $\Phi_0$ , направление которого показано в виде векто-ра на схеме. Пользуясь правилом левой руки, нетрудно уяснить, что при обозначенном направлении тока и магнитного потока якорь будет вращаться по ходу часовой стрелки.

Как только секция обмотки пересекает ось  $O—O$ , направление тока изменяется на противоположное, что обуславливается переме-щением щеток по пластинам коллектора. Этот процесс называется коммутацией двигателя, и он будет происходить нормально (без подгорания и искрения щеток), если коммутируемая секция нахо-дится строго на «электрической нейтрали», где проводник не пере-секает линий магнитного поля.

Указанная нейтраль двухполюсного двигателя располагается перпендикулярно магнитному потоку, но в общем случае она не совпадает с осью  $O—O$ . Причиной здесь является наличие вторич-



**Рис. 17.** Схема двухполюсной машины постоянного тока последовательного возбуждения.

ного магнитного потока — реакция якоря  $\Phi_r$ , что вызвано прохождением тока в его обмотке. Направление данного потока определяется правилом буравчика (см. рис. 17, б), а величина — током  $I$  в секциях, который в двигателях с переменной нагрузкой на валу часто изменяется.

Таким образом (см. рис. 17, в), суммарный магнитный поток ( $\Phi_c$ ) будет складываться из основного ( $\Phi_o$ ) и поперечного (реакция якоря  $\Phi_r$ ). При  $\Phi_r = \Phi_r^I$  и  $\Phi_r = \Phi_r^{II}$  электрическая нейтраль займет соответственно положения I—I и II—II, т. е. она окажется «плавающей». При малой мощности двигателей это допустимо, при большой же ухудшение коммутации приводит к быстрому выходу из строя коллектора вследствие искрения щеток, которое может перейти даже в огонь.

Вот почему важной задачей для тяговых двигателей является нейтрализация потока реакции  $\Phi_r$ , что достигается постановкой дополнительных полюсов 6 и 9 (см. рис. 17, а), катушки которых включены в цепь якоря и создают магнитный поток  $\Phi_d$ , противоположный вышеуказанному. При коммутации тока в секциях якоря изменится он и в катушках дополнительных полюсов, вследствие чего обеспечивается постоянная нейтрализация реакции якоря:  $\Phi_d + \Phi_r = 0$ . Ось  $O—O$  в данном случае неподвижна, и щетки коллектора можно установить строго по ней.

Практически поток  $\Phi_d$  должен быть несколько больше значения  $\Phi_r$ , при этом достигается погашение электродвижущей силы (э. д. с.) самоиндукции, наводящейся в коммутируемых секциях. Щетки двигателей с дополнительными полюсами подлежат точной установке по электрической нейтрали, чем обеспечивается хорошая коммутация.

Двухполюсные двигатели не нашли широкого применения, так как недостаточно компактны и неэкономичны по металлоемкости.

Тяговые двигатели электровазов выполняют обычно четырехполюсными, реже — шестиполюсными, причем на каждую пару основных полюсов приходится по паре щеток коллектора и дополнительных полюсов.

Двигатели работают при постоянных вибрациях, запыленности, их габариты ограничены расположением различных деталей и узлов тележки. Поэтому они имеют специальную конструкцию, обеспечивающую надежность в тяжелых условиях эксплуатации.

На рис. 18 показано устройство тягового двигателя типа НБ-406, получившего распространение на электровазах как магистральных, так и промышленного транспорта. Его остов (корпус) 1, отлитый из стали, в верхней части имеет коробку 2 для подсоединения токовых вводов и вентиляционного канала, а по бокам — щиты 7 и 19 с роликовыми подшипниками 9 и 18, падающими на вал 10 якоря 11, выполненного из пластин электротехнической стали 5.

Наружная поверхность якоря, внутри которого находятся вентиляционные каналы, где охлаждающий воздух обдувает его и удаляется через отверстия 8 в подшипниковом щите, имеет пазы с секциями обмотки, закрепляемой клиньями и стягиваемой по краям

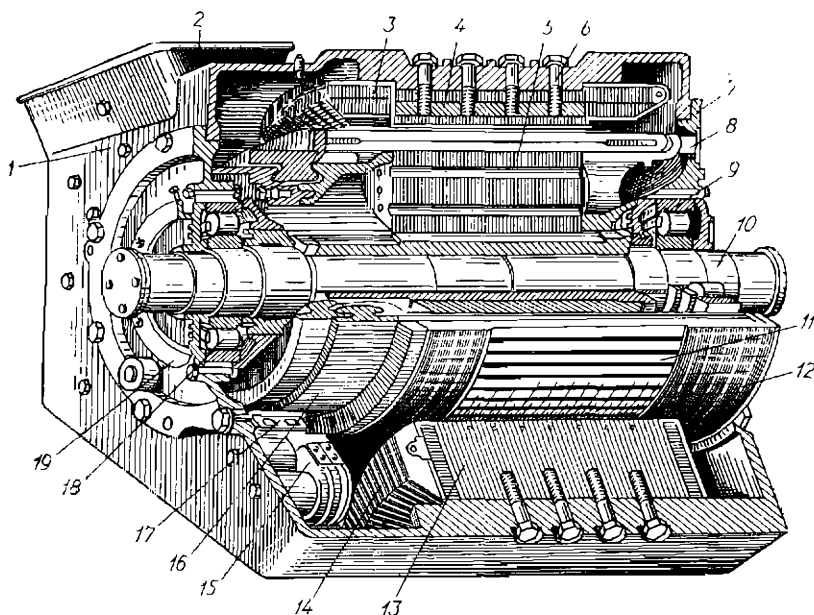


Рис. 18. Тяговый электродвигатель типа НБ-406.

стальными бандажами 12. Коллектор 16 контактирует со щетками 17, размещенными на держателях 15. Для осмотра, ремонта и точной установки этих щеток в осто́ве есть отверстия — коллекторные люки, закрытые крышками.

Четыре главных полюса двигателя расположены парами в вертикальной и горизонтальной плоскостях, а четыре дополнительных — под углами  $45^\circ$ . На рисунке показаны главный полюс 4, закрепленный болтами 6, и его катушка 3, а также дополнительный полюс 13 с катушкой 14.

Тяговые двигатели характеризуются номинальными (паспортными) данными часового и длительного режима.

*Номинальной часовой мощностью* (или током) называют наибольшую мощность, при которой за время работы в течение 1 ч с нормальной вентиляцией температура двигателя не превышает максимально допустимое значение. Данному току соответствует также частота вращения часового режима.

*Длительная мощность* (или ток) — это наибольшая мощность, при которой машина может работать продолжительное время без перегрева. При сверхдопустимой температуре обмоток двигателя разрушается изоляция, после чего требуется очень трудоемкий восстановительный ремонт.

Основные данные двигателей, применяемых на электровозах и тяговых агрегатах постоянного тока, приведены в табл. 1. Все они имеют последовательное возбуждение. Их преимущества заключаются в более легком пуске, чем у двигателей других типов, в на-

Таблица 1. Основные данные тяговых двигателей электровозов постоянного тока

Показатели	Тип двигателей			
	НБ-406Д	АД039115fT	1АД434еТ	ГВМ350/1500а
Номинальное напряжение на коллекторе, В	1500	1500	1500	1500
Часовой режим:				
— мощность на валу, кВт	525	260	425	350
— ток, А	380	190	304	250
— частота вращения, мин <sup>-1</sup>	735	750	700	820
— к. п. д. на валу, %	93	91	94	93
Длительный режим:				
— мощность на валу, кВт	470	200	370	290
— ток, А	340	148	264	205
— частота вращения, мин <sup>-1</sup>	765	815	740	880
Наибольшая частота вращения, мин <sup>-1</sup>	1790	2320	2160	2000
Масса, кг	5400	2810	4350	3700
Тип электровоза (тягового агрегата), на котором установлены двигатели	ПЭ2	21Е	26Е	Е1; Е2

дежной коммутации, нечувствительности к резким толчкам напряжения, равномерности распределения нагрузки между параллельно включенными машинами.

Электромеханическими характеристиками называют графики зависимостей момента на валу  $M$  и частоты его вращения  $n$  от тока двигателя  $I$ :

$$M = c_m I \Phi, \quad (1)$$

где  $c_m$  — постоянный коэффициент, зависящий от конструктивных данных электромашины;

$\Phi$  — магнитный поток возбуждения.

Частота вращения

$$n = \frac{U - I \Sigma R}{c \Phi}, \quad (2)$$

где  $U$  — напряжение в сети;

$\Sigma R$  — суммарное сопротивление в цепи якоря;

$c$  — конструктивная постоянная.

Тяговые электромашины проектируют на выдержку в течение 1 мин двойного часового тока без нарушения коммутации, в результате чего создаются условия для нормальной работы локомотива при больших кратковременных перегрузках.

Вспомогательные машины электровоза обеспечивают:

1) привод компрессоров, производящих сжатый воздух давлением 0,8—0,9 МПа для питания тормозной системы поезда и

устройств пневморазгрузки вагонов. Чтобы не допустить перебоев в его подаче при отказе, к примеру, двигателя, локомотивы оборудуются 2—3 компрессорами с индивидуальными приводами. Такую установку называют мотор-компрессором;

2) привод вентиляторов, подающих охлаждающий воздух по трубопроводам к тяговым двигателям. Обычно для каждой их пары (на одной тележке) имеется центробежный вентилятор с электродвигателем (мотор-вентилятор);

3) выработку энергии низкого напряжения (50 В) для питания цепей управления электровоза и зарядки аккумуляторных батарей. С этой целью применяют генератор с приводом либо от мотор-вентиляторов, либо от собственных электродвигателей. В последнем случае установку называют мотор-генератором;

4) собственные нужды — вентиляцию кабины машиниста, подачу сжатого воздуха для подъема токоприемников и др.

Все используемые электродвигатели — постоянного тока. Более мощные из них (для компрессоров, вентиляторов) выполняются на напряжение контактной сети (1500 и 3000 В), имеют четыре главных и столько же дополнительных полюсов, снабжены последовательными обмотками возбуждения. Такие двигатели охлаждаются воздухом с помощью вентилятора, находящегося внутри остова машины.

На ряде электровозов генераторы цепей управления приводятся во вращение через клиноременную передачу от вала мотор-вентилятора. На локомотивах последних лет применяются мотор-генераторы, состоящие из электродвигателя и генератора соответственно на напряжения 1500 (3000) и 50 В постоянного тока. Обе эти машины устанавливаются в одном остове и имеют единый вал.

### § 13. Регулирование режимов тяговых двигателей

Механизм управления тяговыми двигателями позволяет машинисту локомотива обеспечить трогание поезда, регулирование скорости и силы тяги, изменение направления движения (реверсирование), электрическое торможение.

Трогание — весьма ответственный режим: при пуске в тяговых двигателях еще не возникла противоэлектродвижущая сила и ток электромашины определяется по закону Ома:

$$I = U / \sum R. \quad (3)$$

В момент пуска на валу двигателя должен действовать большой крутящий момент для обеспечения трогания поезда. Наряду с этим нельзя допускать, чтобы ток электромашины превышал максимальное значение, поскольку они могут выйти из строя.

Для ограничения пусковых токов, как следует из формулы (3), надо уменьшить напряжение  $U$  и повысить суммарное сопротивление  $\sum R$  в цепи двигателей, что становится возможным при последовательно-параллельном их подключении с введением пусковых резисторов. Соответствующая схема показана на рис. 19, а. Здесь

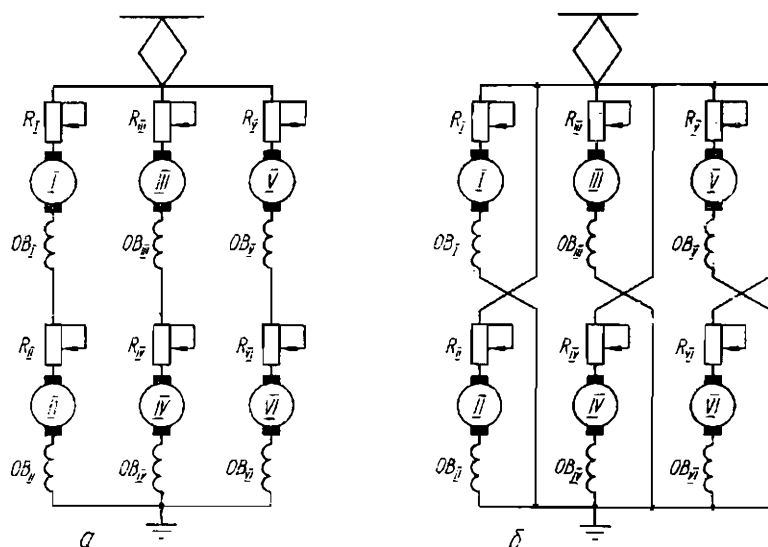


Рис. 19. Схемы включения электродвигателей в режиме тяги.

в одной последовательной цепи видим якоря двигателей I и II, обмотки возбуждения  $ОВ_I$  и  $ОВ_{II}$ , а также пусковые резисторы  $R_I$  и  $R_{II}$ . Аналогично соединены электромашины III и IV, V и VI, а между собой последовательные цепи включены параллельно. Каждый двигатель со своим пусковым резистором находится под половинным напряжением контактной сети.

По мере разгона поезда увеличивается противоэлектродвижущая сила двигателей и убавляются их токи, поэтому пусковые сопротивления постепенно уменьшают. Когда резисторы  $R_I$ ,  $R_{II}$ , ...,  $R_{VI}$  полностью выведены (зашунтированы), двигатели работают с пониженной частотой вращения, так как на каждый из них подается половина от напряжения контактной сети.

Регулирование скорости движения и силы тяги осуществляется машинистом. Для этого предусмотрена возможность ступенчатого увеличения (уменьшения) сопротивления пусковых резисторов; соответственно сила тяги возрастет (понижится), а скорость, наоборот, — убавится (повысится). Увеличение последней производится также путем переключения двигателей на параллельное соединение (см. рис. 19, б). Каждая электромашина через пусковой резистор подключена на контактную сеть. Постепенно сокращая сопротивление резистора, повышаем частоту вращения вплоть до номинальной, когда они зашунтированы.

Длительную работу тяговых двигателей с включенными резисторами допускать нежелательно, так как теряется энергия на их нагрев. Машинистам рекомендуется поддерживать преимущественно ходовые режимы с зашунтированными пусковыми резисторами.

Часть промышленных электровозов способна работать в режиме *медленного движения*, для чего все двигатели подключаются в одну последовательную цепь, а пусковые сопротивления шунтируются. При этом напряжение на двигателе

$$U = U_{к.с}/n_d, \quad (4)$$

где  $U_{к.с}$  — напряжение контактной сети;

$n_d$  — число последовательно включенных двигателей.

Такой режим, например, требуется при погрузке транспортерами горной массы в медленно передвигающийся поезд.

На большинстве промышленных электровозов не предусмотрено повышение частоты вращения тяговых двигателей сверх номинальной, на магистральных же такое повышение обеспечивается путем уменьшения магнитного потока  $\Phi$ , т. е. *ослаблением поля двигателя*, (рис. 20). Параллельно с обмоткой возбуждения  $ОВ_1$  включаются шунтирующий резистор  $R_{ш}$  и индуктивный шунт  $D$ . Ток в указанной обмотке уменьшится, что приведет к понижению магнитного потока  $\Phi$ .

Как следует из формулы (2), частота вращения двигателя возрастает, превосходя номинальную. Индуктивный шунт  $D$  исключит нежелательные броски токов при ступенчатом регулировании резистора  $R_{ш}$ . В режиме ослабленного поля ток двигателя и его мощность также превысят номинальные величины, что позволит водить поезда со значительной скоростью.

В условиях промышленного транспорта нередко требуется изменение направления вращения — реверсирование двигателей. Чаще всего для этой цели предусматривается перемена полярности (перекрестное включение) якоря электромашин, в то время как присоединение катушек возбуждения остается тем же.

Можно, кроме того, изменить полярность возбуждения при

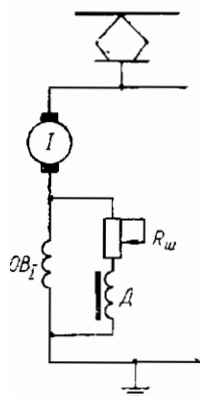


Рис. 20. Схема ослабления двигателя.

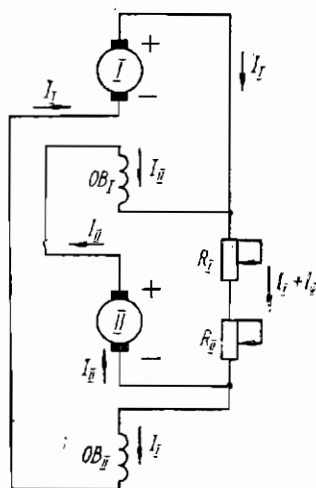


Рис. 21. Схема соединения пары тяговых электродвигателей в режиме реостатного торможения.

прежнем включении якоря. Однако в данном случае происходит нежелательное перемагничивание полюсов двигателя. С реверсированными электромашинами осуществляются такие же режимы регулирования скорости и тяги, что и при прямом подсоединении. Это значит: при движении локомотива вперед или назад управление двигателями не изменяется, тяговые характеристики практически одинаковы.

*Электрическое торможение* выполняется путем перевода тяговых машин из двигательного режима в генераторный. При этом механическая энергия отбирается от состава и преобразуется в электрическую.

Торможение называют рекуперативным или реостатным, если полученная электроэнергия соответственно возвращается в контактную сеть или же гасится на специальных резисторах. На электровозах промышленного транспорта постоянного тока преимущественно применяют реостатное торможение, так как при рекуперации напряжение генератора должно быть выше напряжения контактной сети, а это трудноосуществимо для машин последовательного возбуждения.

Чтобы перевести двигатели в режим реостатного торможения, необходимо отсоединить их от контактной сети, перекрестно подключить обмотки возбуждения и нагрузить якоря тормозными сопротивлениями (рис. 21). В генераторном режиме направление тока тяговых двигателей соответствует направлению их электродвижущей силы. В начале работы за счет остаточного магнетизма полюсов в якоре машины I генерируется ток  $I_1$ , который проходит через резисторы  $R_I$  и  $R_{II}$ , обмотки возбуждения  $ОВ_{II}$  и возвращается в якорь I. Ток  $I_{II}$  следует через обмотку  $ОВ_I$ , резисторы  $R_I$  и  $R_{II}$  и направляется в якорь II. Машины постоянно возбуждают друг друга. В качестве тормозных сопротивлений используются пусковые резисторы.

Видим, что направление тока в обмотках  $ОВ_I$  и  $ОВ_{II}$  такое же, как и при работе в двигательном режиме, т. е. перемагничивание полюсов не наблюдается. Если не придерживаться этого условия, неизбежно размагничивание машин, после чего переход их в генераторный режим с самовозбуждением от остаточного магнетизма становится невозможным.

Перекрестное включение обмоток возбуждения обеспечивает выравнивание нагрузок. Если, например, по каким-либо причинам тормозной момент машины I возрос, то, следовательно, повысится ток  $I_1$ . Поступая в обмотку  $ОВ_{II}$ , он вызовет увеличение магнитного потока машины II, который и выровняет нагрузки.

Снижение тормозного момента на одной из машин соответственно приведет к снижению момента на другой. Таким образом, колесные пары электровоза будут одинаково (равномерно) затормаживаться, а энергия торможения в конечном итоге превратится в тепловую на резисторах  $R_I$  и  $R_{II}$ .

Тормозная сила, кроме того, регулируется путем изменения сопротивления резисторов. Чем меньше оно, тем значительнее токи

машин и тем больше эта сила. Длительные торможения могут осуществляться при таких величинах токов, которые не опасны с точки зрения перегрева тяговых двигателей и резисторов.

## § 14. Электрическая аппаратура

Как видно из предыдущего параграфа, управление электровозом требует многочисленных переключений в цепях тяговых двигателей. Поскольку данные цепи высоковольтные, то с точки зрения безопасности нельзя производить подсоединение контактов непосредственно с кабины машиниста. Большинство контакторов имеет дистанционное управление от вспомогательной аппаратуры, которая делится на высоковольтную, установленную в силовых цепях, и низковольтную, размещенную в цепях управления. По своему назначению она классифицируется следующим образом. Это:

- а) аппараты управления;
- б) пускорегулирующая аппаратура;
- в) аппараты защиты;
- г) токоприемники;
- д) вспомогательные аппараты и оборудование;
- е) контрольно-измерительные приборы.

К электрическим аппаратам локомотива предъявляются жесткие требования — работать при высокой запыленности, повышенной влажности, резких температурных перепадах (от  $-50$  до  $+40^{\circ}\text{C}$ ) и значительных механических вибрациях. Кроме того, аппараты должны нормально функционировать в условиях частых и длительных перегрузок.

Основным *аппаратом управления* электровоза является контроллер машиниста, находящийся в его кабине. Вращаемый штурвал 1 (рис. 22) служит для переключения позиций. Реверсивная рукоятка 2 позволяет изменять направление движения, а также переходить с двигательного режима на тормозной. Соединенная с реверсивным барабаном 3, она может устанавливаться в позиции: нулевую, «Движение вперед», «Торможение вперед», «Маневровый режим вперед» и «Назад» (три положения).

Нулевая позиция соответствует выключенным низковольтным контактам 4 и заблокированному штурвалу. При этом рукоятка может быть снята во избежание управления электровозом посторонними лицами. В остальных ее положениях предусмотрено замыкание контактов; штурвал разблокирован и может устанавливаться на нужную позицию.

Для обеспечения плавного регулирования скорости и тяги штурвал имеет в разных типах электровозов от 37 до 56 позиций. Каждой из них соответствует определенное положение главного барабана 5, который своими кулачками замыкает или размыкает контакты управления 6.

По контактам 4 и 6, находящимся под напряжением 50 В, протекают низкие токи управления (6—10 А), что безопасно для об-

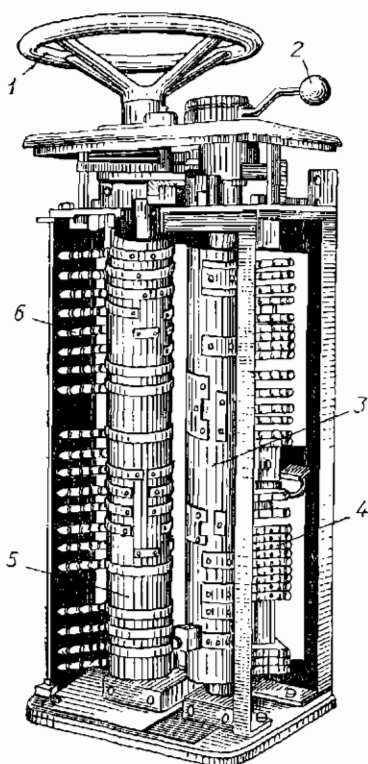
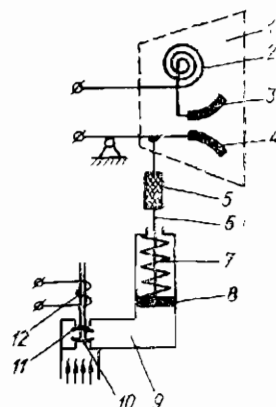


Рис. 22. Контроллер машиниста электровоза.

Рис. 23. Схема индивидуального электропневматического контактора.



служивающего персонала. Размыкание данных контактов не сопровождается возникновением дуги.

Кроме контроллера, машинист управляет также рядом кнопочных и пакетных переключателей для подсоединения вспомогательных машин, вентиляции, освещения и отопления кабины, наружных световых приборов, звукового сигнала и др.

*Пускорегулирующая аппаратура* обеспечивает непосредственное управление тяговыми и вспомогательными средствами по командам, поступающим от контроллера машиниста. Исполняющими органами являются высоковольтные переключатели, которые могут быть индивидуальными или групповыми. Они называются электропневматическими, если для переключений используется сжатый воздух, либо электромагнитными, если применяются магнитные силы. Первые из них отличаются большими усилиями прижатия контактов друг к другу (свыше 270 Н).

*Индивидуальный электропневматический переключатель-контактор* предназначен для разрыва и замыкания силовых цепей тяговых двигателей под нагрузкой (рис. 23). Ток управления от контроллера машиниста поступает на катушку 12 электромагнитного вентиля, вследствие чего клапан 11 закрывается, отсоединяя цилиндр 9 от атмосферы, а клапан 10 открывается, пропуская в ци-

цилиндр сжатый воздух, благодаря которому поршень 8 движется вверх, сдвигая пружину 7. Шток 6 через изолятор 5 воздействует на подвижной высоковольтный контакт 4, прижимая его к контакту 3. Последний допускает некоторое перемещение — «провал», во время которого поверхности контактов перескакивают с проскальзыванием друг по другу, обеспечивая самоочищение от окислов.

Размыкание указанных контактов осуществляется в момент прекращения подачи управляющего тока на катушку 12. Клапан 10 закрывает доступ сжатого воздуха, а клапан 11 сообщает цилиндр 9 с атмосферой. В результате под давлением сжатой пружины 7 происходит перемещение поршня вниз, и контакты размыкаются. При этом между ними возникает мощная дуга с температурой на поверхности до 3000°C. Чтобы эта дуга не расплавила контакты, ее нужно быстро отвести и погасить, для чего служат катушка 2, соединенная с неподвижным контактом 3, и дугогасительная камера 1 из термоустойчивого материала (асбоцемента). Дугу можно рассматривать как электрический проводник. Магнитное поле, созданное катушкой 2, заставляет дугу двигаться — оторваться от контактов и попасть в камеру 1, где она разбивается на части и гаснет.

Групповой переключатель, называемый *главным контроллером*, обеспечивает одновременные переключения в заданные положения нескольких высоковольтных контактов в цепях тяговых двигателей и пусковых резисторов.

Главный контроллер имеет ряд параллельно расположенных дугогасительных камер, каждая из которых устроена аналогично камере контактора. Внутри их размещены высоковольтные контакты, действующие от кулачкового вала, проворачиваемого в строго фиксированные положения с помощью пневмомеханизма и фиксатора, установленных по торцам контроллера.

Групповой переключатель полярности якорей, служащий для изменения направления вращения тяговых двигателей, — это *реверсор*, а переключатель обмоток главных полюсов в режиме реостатного торможения называется *тормозным переключателем*.

Реверсор и тормозной переключатель не имеют дугогасительных камер, так как в момент изменения направления или при тормозном режиме контакты тяговых двигателей должны быть обесточены. Специальные блокираторы не позволяют переключать реверсивную рукоятку контроллера машиниста, если штурвал не поставлен в нулевое положение.

А п п а р а т ы з а щ и т ы обеспечивают электрическую безопасность и неповреждаемость машин и оборудования локомотива при возникновении опасных режимов: коротких замыканий в силовых цепях или цепях управления, длительных перегрузок тяговых двигателей, перенапряжений в контактной сети и др.

При коротких замыканиях в электрических цепях проходит очень большой ток. Чтобы не допустить повреждений машин и аппаратов, его подачу немедленно прекращают. Для этого применя-

ются *быстродействующие автоматические выключатели*, магнитная система которых настроена так, что после превышения заранее установленного значения тока контакты разрываются и дуга гаснет. От обычных контакторов данные выключатели отличаются следующим: время их срабатывания в десятки раз быстрее.

Защита от недопустимых перенапряжений тяговых двигателей осуществляется с помощью специальных *реле перегрузки*, настроенных на определенную величину тока отключения. Если эта величина превышает, реле вызывает срабатывание быстродействующего автоматического выключателя и зажигание сигнальной лампы на пульте управления локомотива.

Для защиты от длительных токовых перегрузок оборудования и аппаратуры используются также высоковольтные *плавкие предохранители*, действующие по принципу разрыва цепи из-за расплавления тонкой проволоки. Такие предохранители помещают в фарфоровую трубку, заполненную мелкозернистым песком, в котором гасится дуга.

В контактной сети могут возникнуть перенапряжения, к примеру, во время грозы. Чтобы предотвратить пробой изоляции, применяют специальные устройства — *разрядники*. Рассчитаны они на многократное срабатывание с отводом повышенных электрических зарядов на рельсы.

Кроме указанных, на электровозах имеется ряд других аппаратов защиты. Так, если открывается дверь *высоковольтного помещения*, *блок-контакты*, установленные на ней, побуждают к срабатыванию быстродействующие выключатели. *Реле боксования* автоматически обеспечивает подсыпку песка под колеса, а *реле минимального напряжения* действует, если таковое в контактной сети стало ниже минимального допускаемого значения, при этом цепи электровоза отключаются от нее.

*Токоприемники* предназначены для соединения провода контактной сети с электрическими цепями локомотива. В отличие от магистральных электровозов, имеющих только центральные токоприемники, локомотивы промышленного транспорта оборудуются еще и боковыми.

Конструкция токоприемника (рис. 24) позволяет поднимать или опускать полз *1*, а также удерживать его прижатым к центральному проводу с постоянным усилием 60—120 Н. Подвижная часть (пожницы) *6* может перемещать полз вверх или вниз под воздействием пневмоцилиндра *3*, размещенного внутри главной пружины. Усилие от него и вспомогательных пружин *2* передается на главный вал *4*, поворот которого обеспечивает перемещение пожниц. Все детали токоприемника в поднятом состоянии падаются под напряжением. Для лучшего токопрохождения применяют гибкие шунты *5*. К крыше электровоза токоприемник крепится с помощью кронштейнов-изоляторов.

*Боковой токоприемник*, использующийся на участках погрузки-выгрузки составов, где контактный провод смещен в сторону от оси пути (см. рис. 5, б), в нерабочем положении поворачивается в

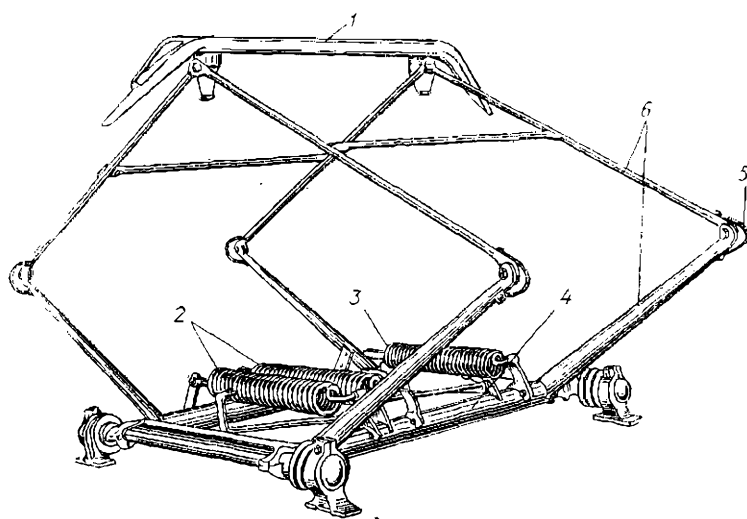


Рис. 24. Центральный токоприемник.

горизонтальной плоскости на угол  $90^\circ$  и располагается вдоль электропровода. Пневматический механизм привода данного токоприемника осуществляет как повороты, так и вертикальные перемещения полоза. На локомотиве обычно имеются два боковых токоприемника — левый и правый, что позволяет работать при любом положении контактного провода.

*Вспомогательные электрические аппараты* предназначены для управления наружным и внутренним освещением, звуковыми сигналами, песочницами, отоплением и вентиляцией кабины машиниста. Эти аппараты выполняются в виде кнопок, тумблеров, реле и контактов.

На посту управления электровозом размещен ряд *измерительных приборов*: вольтметры, амперметры, электроскоростемер и др. По их показателям машинист оценивает исправность работы электрического оборудования и аппаратуры локомотива, выполняет переключение контроллера, устанавливая необходимые режимы движения поезда.

## § 15. Аккумуляторные батареи

При внезапном прекращении подачи энергии из контактной сети, срабатывании главного разъединителя, а также при опускании токоприемников электрические машины и аппараты локомотива перестают действовать. Должны функционировать лишь звуковые сигналы, радиостанция, приборы освещения и др. Для этого существует независимый источник питания — аккумуляторная батарея. На некоторых электровозах двойного питания мощная такая

батарея полностью обеспечивает работу электровоза по участкам, не оборудованным контактной сетью.

Батарея состоит из набора последовательно соединенных элементов — аккумуляторов, способных при заряде накапливать электрическую энергию, а при разряде отдавать ее потребителям. Аккумулятор характеризуется двумя основными параметрами: номинальным напряжением  $U_a$  и емкостью  $Q$ , выражаемой в ампер-часах (А·ч):

$$Q = I_p t, \quad (5)$$

где  $I_p$  — разрядный ток, который может отдать аккумулятор за  $t$  часов его работы.

Обычно аккумуляторы соединяют последовательно, чтобы получить более высокое напряжение:

$$U_b = n_a U_a, \quad (6)$$

где  $n_a$  — число аккумуляторов.

По принципу действия аккумуляторы могут быть *кислотными* или *щелочными*. Схематично любой из них представляет собой корпус 1 (рис. 25) с крышкой 2, внутри которого размещаются изолированные друг от друга пластины, образующие положительный и отрицательный электроды — 3 и 4, погруженные в специальный раствор 5, называемый электролитом.

В кислотных аккумуляторах таким электролитом является раствор серной кислоты  $H_2SO_4$ . Положительная пластина содержит двуокись свинца  $PbO_2$  (коричневого цвета), а отрицательная — чистый свинец  $Pb$  (серого цвета). Когда аккумулятор подключен на

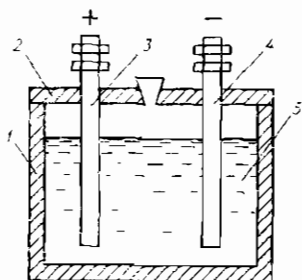


Рис. 25. Принцип устройства аккумулятора.

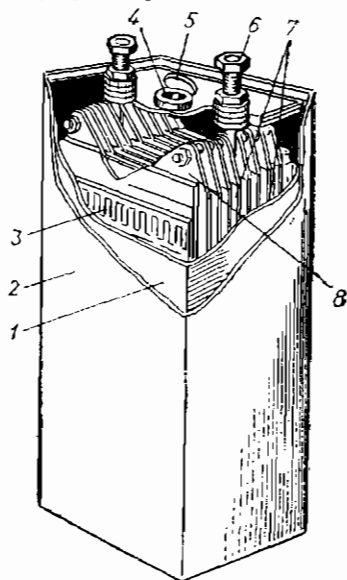
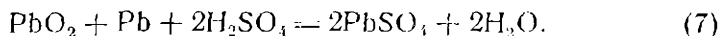


Рис. 26. Никель-железный аккумулятор.

разряд и обеспечивает работу какого-либо потребителя, на электродах совершается следующая химическая реакция:



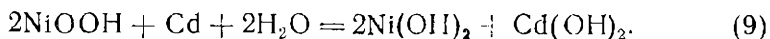
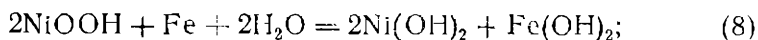
Внутри аккумулятора между пластинами происходит перемещение положительных и отрицательных ионов, а во внешней цепи протекает электрический ток. По мере разряда на обеих пластинах образуется тонкий слой сульфата свинца  $\text{PbSO}_4$ , представляющего собой твердое токонепроводящее вещество, и если разряд будет слишком длительным, произойдет полная «сульфатация» батареи (она выйдет из строя).

Если же слой сульфата достаточно тонкий и не сплошной, аккумулятор вновь заряжают, подключив к его электродам источник постоянного тока. При этом осуществляется реакция, обратная разряду [см. формулу (7)]. Сульфат на пластинах «растворится», и на них образуются исходные активные вещества. Такой процесс может повторяться многократно.

К достоинствам кислотных аккумуляторов следует отнести возможность их разряда большими токами, что позволяет производить пуск стартеров и мощных электродвигателей. Но вместе с тем аккумулятор требует высококачественного ухода. Сульфатация пластин наступит не только при глубоком разряде, но и при недостатке электролита, длительном хранении без подзаряда. Расходуется, кроме того, ценный цветной металл — свинец. Данные обстоятельства и обусловили постепенное замещение кислотных батарей щелочными, имеющими следующую особенность. Растворенные в электролите едкий кали  $\text{KOH}$  или едкий натр  $\text{NaOH}$  не принимают участия в реакции при разряде-заряде, а только ускоряют ее, обеспечивая внутренний перенос ионов. Поэтому плотность электролита в аккумуляторе не зависит от степени его заряда, как в предыдущем случае. Количество раствора может быть существенно снижено, а габариты и вес аккумулятора уменьшены.

Работа щелочных батарей основана на свойстве никеля образовывать неполный гидрат окиси  $\text{NiOOH}$ , который при заряде накапливается на положительном электроде, а при разряде переходит в гидрат окиси  $\text{Ni(OH)}_2$ . Одновременно на отрицательной пластине губчатое железо или кадмий превращаются в их гидраты окислов.

В зависимости от состава отрицательного электрода щелочные аккумуляторы бывают никель-железными (НЖ) или никель-кадмиевыми (НК). Электрохимические реакции при разряде соответственно выражаются уравнениями:



При заряде эти реакции протекают в обратном направлении. Конструктивно аккумулятор НЖ (рис. 26) состоит из стального корпуса 1, покрытого специальным щелочестойким лаком и по-

мещенного в резиновый чехол 2. Положительные пластины 7 собираются на общей шпильке в полублок 8 и соединяются (электрически) с клеммой 6, выведенной наружу корпуса. Аналогично составляются отрицательные пластины 3. Горловина 4 с крышкой 5, служит для заливки электролита, а также для выхода газов, образующихся вследствие разложения воды.

У никель-железных аккумуляторов крайние пластины, соединенные с корпусом, — отрицательны, а у никель-кадмиевых — наоборот: такие пластины — положительные.

Щелочные батареи, в отличие от кислотных, не теряют своих свойств ни при глубоком разряде, ни длительном хранении. Они характеризуются также большим сроком службы, высокой механической прочностью, малыми габаритами, что и обуславливает их широкое использование.

На отечественных электровозах и тяговых агрегатах применяются батареи из 60 аккумуляторов типа НКН-100 (последнее число показывает емкость в ампер-часах). Каждый из них имеет напряжение 1,25 В. Используются также батареи других марок.

## Контрольные вопросы

1. Как устроен и работает тяговый двигатель?
2. Какие функции выполняют вспомогательные тяговые машины электровоза?
3. Почему в момент трогания в цепь двигателей должны быть включены резисторы?
4. Какие переключения в цепях двигателей производят при регулировании скорости, реверсировании, электрическом торможении?
5. Как устроен контроллер машиниста?
6. Почему в ответственных высоковольтных переключателях применяют пневматический привод, а не электромагнитный?
7. Как работают дугогасительные устройства контакторов?
8. Для чего предназначены главные контроллеры, реверсоры, тормозные переключатели?
9. Какие аккумуляторы применяются на электровозах?

## Глава 5. ЭЛЕКТРОВОЗЫ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

### § 16. Общее устройство

Механические части электровозов постоянного и переменного тока мало отличаются друг от друга. Основные различия — в электрических устройствах, что связано с неодинаковыми системами энергоснабжения. Если на электровозах постоянного тока тяговые двигатели питаются непосредственно от контактной сети, то реализация данной схемы практически невозможна для переменного тока (50 Гц, 10 кВ), важным преимуществом которого является простота уменьшения или повышения напряжения при помощи трансформаторов. Однако задачу создания двигателя однофазного переменного тока с коллекторным механизмом и широким диапазо-

ном изменения частоты вращения пока решить не удалось. Главная здесь трудность заключается в неудовлетворительной коммутации (искрение на щетках коллектора), вызванной трансформаторной э. д. с. В связи с этим локомотивы оборудуются двигателями постоянного тока, которые снабжаются энергией не от контактной сети, а через специальные преобразовательные установки.

Общая схема питания тяговой электромашин имеет следующую структуру (рис. 27). От контактной сети КС энергию получает первичная обмотка трансформатора  $T_p$ , второй вывод которой через ходовые элементы подсоединен на рельсы  $P$ . Эту часть схемы называют *цепью высокого напряжения*.

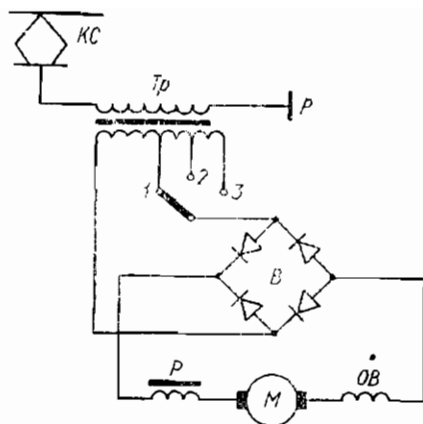


Рис. 27. Упрощенная схема питания тягового двигателя электровоза переменного тока.

Со вторичной обмотки трансформатора снимается пониженное тяговое напряжение, величина которого может изменяться путем переключений на большее или меньшее число витков — позиции 1, 2 и 3. Далее через преобразовательное устройство В выпрямленный ток поступает на якорь  $M$  и обмотки возбуждения  $OB$  двигателя. Для улучшения качества полученного тока последовательно с тяговой машиной включается индуктивная катушка — реактор  $P'$ .

Вследствие возможности изменения числа витков вторичной обмотки трансформатора частота вращения двигателя регулируется напряжением, а не пусковыми резисторами, что приводит к экономии мощности (нет расхода энергии на их нагрев) и улучшению тяговых характеристик электровозов переменного тока. В этом — весьма важное преимущество рассмотренной схемы.

Поскольку, как уже говорилось, часть машин и аппаратов тех и других локомотивов не характеризуется принципиальными отличиями, ниже будет уделено внимание только специфическим узлам электровозов переменного тока.

## § 17. Тяговые двигатели

Статические (не имеющие движущихся или вращающихся частей) выпрямители, которые применяются на электровозах, не могут обеспечить строгого постоянства выпрямленного тока. Даже при наличии мощных сглаживающих реакторов он приобретает форму, показанную на рис. 28, т. е. как бы складывается из постоянной составляющей  $I_0$  и переменной  $I_1$ . В связи с данным обстоятельством возникает пульсация магнитного потока, образуемого обмоткой возбуждения тягового двигателя.

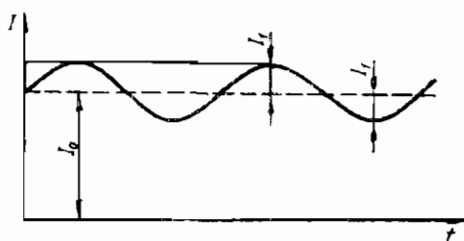


Рис. 28. График изменения выпрямленного тока во времени.

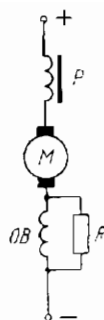


Рис. 29. Схема включения электродвигателя в цепь пульсирующего тока.

Всякое же изменение магнитного поля, в свою очередь, приводит к появлению в обмотках якоря трансформаторной э. д. с., которая ухудшает коммутацию двигателя. Поэтому должны предусматриваться меры для ее улучшения.

Электровозы первых выпусков оборудовались тяговыми двигателями постоянного тока (последовательное возбуждение) с четырьмя основными и столькими же дополнительными полюсами (тип НБ-406Б). Принципиально данные электромашины не отличаются по конструкции от описанных ранее (гл. 4, § 12). Улучшение коммутации обеспечивается:

а) включением шунтирующего резистора  $R$  в цепь обмотки ОВ (рис. 29); при этом магнитный поток возбуждения постоянно ослаблен, но переменная составляющая тока  $I_1$  (см. рис. 28) проходит большей частью по резистору  $R$  с активным сопротивлением (см. рис. 29), а пульсация магнитного потока двигателя снижается;

Таблица 2. Основные данные тяговых двигателей электровозов переменного тока

Показатели	Тип двигателей			
	НБ-406Б	ДТ9Н	НБ-412П	GBMW0713—68
Номинальное напряжение на коллекторе, В	1200	1500	1100	880
Часовой режим:				
— мощность на валу, кВт	412	455	575	410
— ток, А	370	330	565	510
— частота вращения, мин <sup>-1</sup>	600	665	570	675
— к. п. д. на валу, %	93	92	92	92
Длительный режим:				
— мощность на валу, кВт	368	420	500	360
— ток, А	330	300	490	445
— частота вращения, мин <sup>-1</sup>	630	685	600	715
Наибольшая частота вращения, мин <sup>-1</sup>	1700	1530	1250	1730
Число главных полюсов	4	4	6	4
Масса, кг	5400	4600	4850	3100
Тип электровоза (тягового агрегата), на котором установлены двигатели	Д94	ОПЭ2, ОПЭ1А	ОПЭ1	ЕЛ10

б) уменьшением номинального напряжения на коллекторе электромашин с 1500 до 1200 В;

в) подключением сглаживающего реактора Р.

На электровозах и тяговых агрегатах последующих выпусков устанавливаются четырехполюсные двигатели пульсирующего тока (тип ДТ9Н), спроектированные с учетом особенностей промтранспорта, когда значительная часть времени работы локомотива приходится на развитие предельной силы тяги при невысокой скорости движения. На этих электромашин, кроме постоянного ослабления магнитного поля, применена компенсирующая обмотка полюсов возбуждения, улучшающая коммутацию на коллекторе.

Конструкции тяговых двигателей ДТ94 и НБ-406Б — принципиально сходны. Их характеристики приведены в табл. 2.

## § 18. Преобразовательные установки

На первых промышленных электровозах отечественного производства для преобразования переменного тока в постоянный устанавливались ртутные вентили — *игнитроны*, пропускающие ток только в одном направлении. Они сложны по конструкции, характеризуются низкой экономичностью и недостаточной надежностью, требуют применения водяной системы охлаждения, что особенно неудобно при обслуживании в условиях минусовых температур.

В последние десятилетия созданы мощные *полупроводниковые кремниевые вентили*, имеющие малые массу и объем, высокую надежность, низкие потери энергии. Не требуется и водяное охлаждение. Созданы также тиристоры — *управляемые полупроводниковые вентили*, которые не только выпрямляют ток, но и способны изменять его величину. Большие преимущества этих вентилях предопределили их широкое использование в преобразовательных установках электровозов.

Сущность работы неуправляемого кремниевого вентиля в упрощенном виде представляется следующим образом. Замечательным свойством химически чистого кристаллического кремния является возможность освобождения электронов от валентных связей под воздействием теплоты, электрического тока и других факторов. Свободные электроны-носители отрицательного заряда, перемещение которых внутри полупроводника обуславливает его электропроводность — *электронную проводимость*.

Взамен отделившегося электрона в атоме кристалла образуются свободные валентные связи, называемые *дыркой*. Такой атом имеет положительный заряд. На место указанной дырки может стать отделившийся электрон соседнего атома, при этом в последнем возникает опять же дырка и т. д. В результате она как бы переносит положительный заряд от атома к атому, что называется *дырочной проводимостью*.

Таким образом, в химически чистом кристаллическом кремнии всегда имеются свободные электроны и дырки. Количество их не-

большое, поэтому они считаются неосновными носителями заряда, хотя в работе вентиля и играют важную роль.

Если в кристалл кремния добавить определенные примеси, его электрические свойства существенно изменятся. По таблице Д. И. Менделеева данный химический элемент входит в IV группу. Добавляя к нему, например, фосфор (V группа), можно резко увеличить число свободных электронов, которые станут основными носителями заряда. Такой полупроводник обладает явно выраженной электронной проводимостью и называется *полупроводником  $n$ -типа* (от слова negative — отрицательный). При использовании же в качестве примеси элемента III группы (алюминия, к примеру) в кристаллической решетке из-за недостатка электронов образуется множество дырок — основных носителей заряда. Полученный полупроводник относится к *полупроводникам  $p$ -типа* (от слова positive — положительный).

Изучаемый вентиль имеет тонкую пластинку кремния, в которую специальным образом через основания введены различные примеси, образующие по ее толщине два полупроводниковых слоя: электронного ( $n$ ) и дырочного ( $p$ ) типа. Средняя плоскость этой пластинки называется  $p$ — $n$ -переходом. Именно он пропускает ток только в одну сторону, т. е. обладает вентильными свойствами.

Если к пластинке с  $p$ — $n$ -переходом не подведено напряжение (рис. 30, *а*), основные носители заряда, показанные в кружках, поначалу будут передвигаться (диффундировать) из зоны  $n$  в зону  $p$ . Но когда часть электронов переместится таким образом, зона  $n$  станет положительно заряженной, что вызовет притягивание к границе перехода неосновных электронов в зоне  $p$  (они изображены без кружков).

Аналогично после диффузирования части дырок из зоны  $p$  в зону  $n$  первая из них зарядится отрицательно и притянет к переходу неосновные дырки зоны  $n$ . В итоге вблизи него возникнет тонкий запирающий слой из соответствующих носителей заряда (на рис. 30, *а* данный слой выделен пунктиром). После этого диффузия основных электронов и дырок прекратится.

Теперь приложим к вентилю напряжение прямой полярности: положительное — к слою  $p$ -типа, а отрицательное — к слою  $n$ -типа (см. рис. 30, *б*). Силы электрического притяжения заставят электроны запирающего слоя переместиться влево, а дырки — вправо (к противоположным потенциалам). Вентиль открыт и может пропускать весьма большие токи.

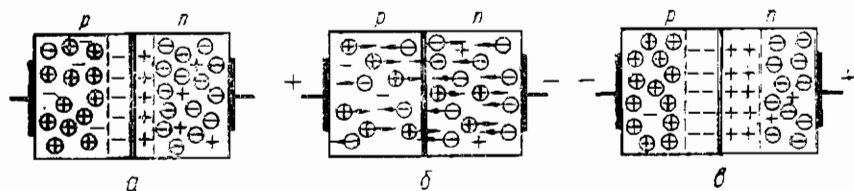


Рис. 30. Принцип работы полупроводникового выпрямителя.

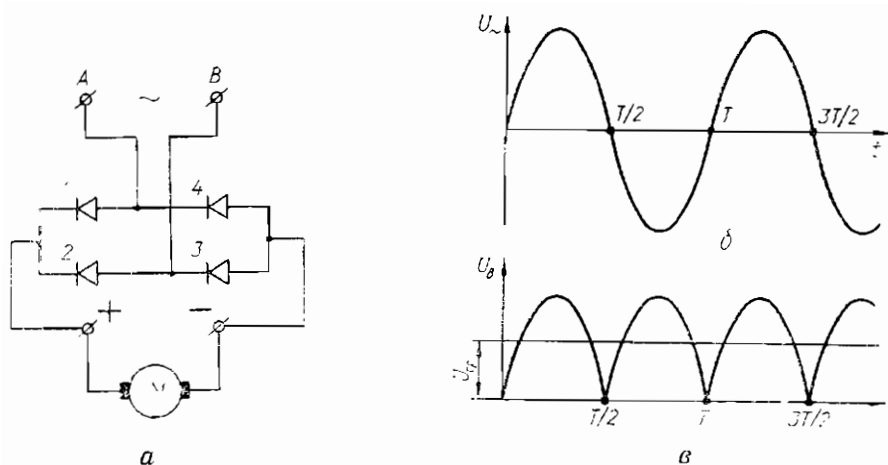


Рис. 31. Схема двухполупериодного выпрямителя.

Если же на вентиль подать напряжение обратной полярности (см. рис. 30, в), электрическое поле будет способствовать не исчезновению, а наоборот, — паразитанию запирающего слоя вблизи  $p-n$ -перехода. Вентиль закрыт и тока не пропускает.

Конструктивно силовой выпрямительный вентиль «таблеточного» типа, имеющий диаметр до 100 мм и толщину до 50 мм, устанавливается на ребристом охладителе (радиаторе) и обдувается воздухом со скоростью 10—12 м/с. Внутри герметического корпуса находятся прочные вольфрамовые диски, предохраняющие пластинки кремния от повреждения и отводящие тепло, а также медные контакты и изоляционные втулки. В соответствии с ГОСТ 10 662—73 данные устройства изготовляют на токи от 10 до 1000 А и повторяющееся обратное напряжение от 100 до 3800 В. Класс вентилей, указанный на его корпусе, равен числу вольт, деленному на сто. Например, вентиль 7-го класса может длительно работать при 700 В.

В преобразовательных устройствах электровозов применяются двухполупериодные выпрямители, где напряжение переменного тока изменяется по синусоидальному закону (рис. 31, а, б). Пусть в первые полупериода ( $T/2$ ) ток проходит от клеммы А к клемме В, тогда цепь его замкнется через вентиль 1, нагрузку  $M$  и вентиль 3. Преобразовательные элементы 2 и 4 в это время находятся под обратной полярностью; они закрыты. Во вторые полупериода ( $T/2—T$ ) ток идет от клеммы В через вентиль 2, нагрузку  $M$  и вентиль 4 на клемму А. Выпрямители 1 и 3 закрыты. Далее процесс повторяется. График напряжения полученного тока без учета его сглаживания показан на рис. (31, в).

Практически каждое плечо выпрямителя состоит не из одного, а из нескольких кремниевых вентилях, соединенных между собой в параллельно-последовательные группы. Вся установка имеет вид шкафа, обшитого листовой сталью.

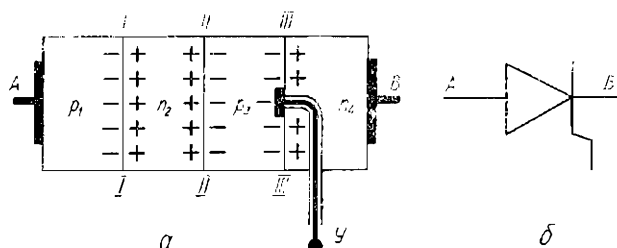


Рис. 32. Принцип работы тиристора.

На ряде отечественных тяговых агрегатов (типа ОПЭ2 и ОПЭ1А) впервые вместо нерегулируемых кремниевых вентилей были применены тиристоры, с помощью которых осуществляется не только выпрямление, но и плавное бесконтактное регулирование величины постоянного тока.

Рабочим элементом тиристора является пластинка кристаллического кремния (рис. 32, а), в которой путем сложной обработки образовано четыре слоя различной проводимости: дырочной ( $p_1$  и  $p_3$ ) и электронной ( $n_2$  и  $n_4$ ). Соответственно возникают переходы: два дырочно-электронные  $p-n$  (I—I' и III—III') и один — электронно-дырочный  $n-p$  (II—II'). Структура запирающих слоев, появляющихся на этих переходах при отсутствии напряжения на контактах тиристора, обозначена на рисунке.

Если подать прямое напряжение (плюс — на А, минус — на В), указанные слои на переходах I—I' и III—III' откроются под воздействием электрического поля, но переход II—II' останется закрытым, и ток через тиристор не пойдет. Необходимо еще подать положительный потенциал к контакту У управляющего электрода. При сравнительно небольшом здесь напряжении электроны неосновных носителей заряда слоя  $p_3$  начнут сдвигаться к этому контакту и сделают переход II—II' свободным. Таким образом, тиристор откроется при одновременной подаче: прямого напряжения — на главные контакты и отпирающего импульса — на управляющий электрод. Ток будет пропускаться, пока не исчезнет прямое напряжение на упомянутых контактах.

При подаче обратного напряжения (плюс — на В, минус — на А) тиристор закрыт всеми тремя переходами. В электрических схемах он обозначается так, как изображено на рис. 32, б.

При включении тиристорov в двухполупериодную схему (см. рис. 31, а) можно добиться плавного бесконтактного регулирования выпрямленного напряжения, изменяя время подачи на управляющие электроды отпирающего импульса. Если он поступает в моменты начала полупериодов переменного тока, выпрямленное напряжение ничем не отличается от получаемого в схеме с нерегулируемыми вентильями. При этом считается, что угол отпирания  $\alpha=0^{\circ}$  \*.

\* Удобно предположить, что за каждый период переменного тока происходит изменение условного электрического угла  $\alpha$  от нуля до  $360^{\circ}$  эл. Тогда напряже-

Если импульс подавать с некоторым запаздыванием (рис. 33) — на угол  $\alpha_1$  (или  $\alpha_2$ ), то чем он больше, тем меньше часть полусинусоиды напряжения (заштрихованной), которую пропускают тиристоры. Соответственно понизится и среднее значение выпрямленного напряжения  $U_{cp}$ . Когда  $\alpha = 180^\circ$  эл., тиристоры заперты, а  $U_{cp} = 0$ . Постепенно изменяя угол отпирания от  $180^\circ$  эл. до нуля, получаем плавное повышение напряжения до заданного максимального значения. Наряду с упрощением электрической схемы локомотива (сокращается количество силовых контактов с дугогасительными камерами) тиристорное регулирование позволяет значительно улучшить тяговые характеристики электровоза.

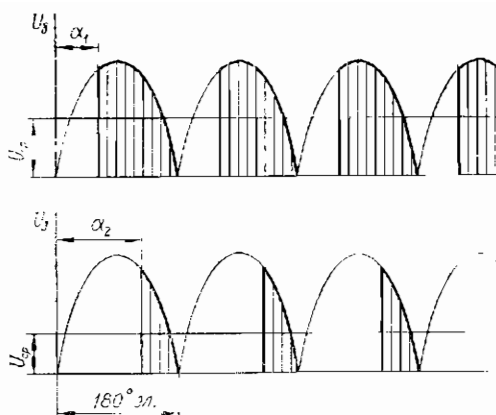


Рис. 33. Изменение выходного напряжения тиристора при различных углах отпирания.

## § 19. Регулирование режимов работы двигателей с помощью тягового трансформатора

Такой трансформатор, служащий для понижения напряжения и регулирования работы тяговых двигателей электровоза, состоит из металлического бака 2 (рис. 34), заполненного высококачественным трансформаторным маслом. Внутри бака размещается магнитопровод 3, набранный из тонких листов электротехнической стали, изолированных друг от друга слоями лака с целью уменьшения потерь на вихревые токи.

На магнитопроводе установлены концентрические обмотки 7 и 8, каждая из которых образует три катушки: одну первичную — для высшего напряжения и две вторичных — соответственно для тягового напряжения и собственных нужд (питания электрической аппаратуры и вспомогательных двигателей).

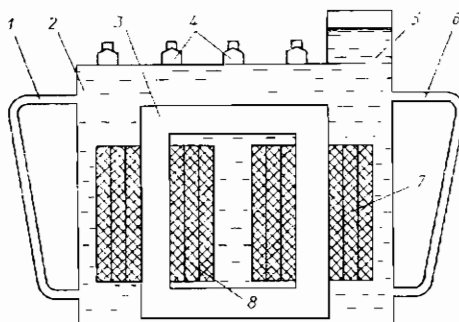


Рис. 34. Устройство тягового трансформатора.

ние в любой момент времени пропорционально синусу этого угла: при  $\alpha = 90^\circ$  эл. оно максимально, при  $\alpha = 180^\circ$  эл. равно нулю и т. д.

Вводы всех катушек 4 располагаются на крышке бака. Охлаждение трансформатора осуществляется путем перекачки масла специальным насосом, при этом оно поступает в секции 1 и 6, обдуваемые воздухом. Для компенсации температурных изменений масла служит расширитель 5.

Мощность трансформатора достигает 2500 кВА, а тягового агрегата — 8500 кВА. Общая их масса соответственно 5000 и 11 000 кг.

Действие трансформатора электровоза основано на явлении электромагнитной индукции. Катушки первичной обмотки с числом витков  $w_1$  подключаются к контактной сети с напряжением  $U_1$ . Переменный магнитный поток данных катушек пронизывает вторичную обмотку с числом витков  $w_2$  и индуцирует здесь э. д. с.; на ее вводах появится напряжение  $U_2$ . Коэффициент трансформации определяется из следующего соотношения:

$$k_T = w_1/w_2 = U_1/U_2. \quad (10)$$

Напряжение во вторичной обмотке

$$U_2 = \frac{w_2}{w_1} \cdot U_1. \quad (11)$$

Получается, что при постоянном напряжении  $U_1$  и числе витков  $w_1$  можно изменять значение  $U_2$ , пропорционально увеличивая или уменьшая величину  $w_2$ . Это свойство трансформатора используется для регулирования режимов работы тяговых двигателей электровоза.

На рис. 35 показана схема первичной обмотки ХА и половины вторичной — для питания четырех тяговых двигателей. Последняя имеет несекционированную часть а1—х1 и секционированную 1—01. Если к двигателю подсоединить только первую из них (а1—х1), напряжение на коллекторе будет низким; при добавлении же (последовательно) секций 1—2, 2—3, 3—4 и 4—01 оно начнет ступенчато повышаться.

Частота вращения двигателя при отсутствии пусковых резисторов может определяться по формуле (2) при условии, что сопротивление в цепи якоря  $\Sigma R \approx 0$ , т. е.

$$n = U/c\Phi. \quad (12)$$

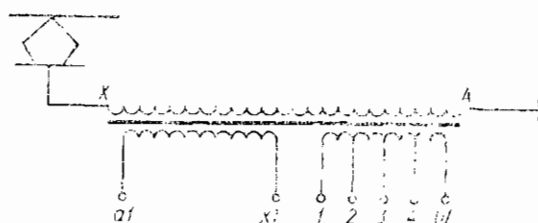


Рис. 35. Электрическая схема тягового трансформатора.

Из формулы следует, что, изменяя небольшими ступенями напряжение  $U$ , представляется возможным плавно разогнать двигатель и регулировать частоту его вращения. При этом необходимо следить за приборами, чтобы ток не превысил допустимых величин.

Если в выпрямительной установке применены управляемые вентили — тиристоры, регулирование напряжения производится комбинированным способом, сочетающим изменение числа витков вторичной обмотки трансформатора и угла отпирания тиристоров.

Включение тяговых двигателей в режимы ослабленного поля и реостатного торможения принципиально не отличается от рассмотренного выше (гл. 4, § 13).

## Контрольные вопросы

1. Почему необходимы преобразовательные устройства на электровозах переменного тока?
2. Из-за чего электровозы переменного тока более экономичны и имеют лучшие тяговые характеристики, чем электровозы постоянного тока?
3. Каким образом уменьшают воздействие пульсирующего тока на тяговые двигатели?
4. В чем заключается принцип выпрямления тока полупроводниковыми вентилями и как работает схема выпрямления?
5. Почему тиристоры допускают плавное регулирование напряжения?
6. Как устроен и работает тяговый трансформатор?

## Глава 6. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СХЕМЫ И УПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОВОЗАМИ

### § 20. Электрические цепи и виды электрических схем

Все электрические машины, аппараты и приборы локомотива соединены между собой в соответствующие цепи. Подключения выполнены в строго определенном порядке при помощи различных кабелей, проводов и т. п. Графические изображения таких цепей называют электрической схемой. По своему назначению они подразделяются следующим образом. Это цепи:

- силовые высоковольтные (обеспечивают питание тяговых двигателей и переключение режимов их работы);
- вспомогательные (также высоковольтные, но для снабжения энергией вспомогательных машин и нагревательных приборов);
- цепи управления (включают в себя контроллеры машиниста и всю низковольтную аппаратуру);
- цепи освещения и сигнализации.

На электровозах переменного тока дополнительно имеются еще цепи высшего напряжения, по которым проходит ток контактной сети (10 кВ).

У различных типов электровозов структуры цепей — сами по себе довольно сложные — могут значительно отличаться друг от

друга. На *упрощенных* из них (для облегчения изучения) изображаются только главные элементы (к примеру, см. гл. 4, § 13).

*Принципиальные схемы* характеризуются тем, что на них показаны все элементы электрических цепей, проставлены условные обозначения этих элементов, а в отдельных случаях — и соединительных проводов. Данные схемы используются как для изучения цепей, так и при устранении неисправностей, контрольной диагностики и др.

*Монтажные схемы*, весьма громоздкие и выполняемые частями, подробно отображают не только структуру цепей, но и расположение всех элементов, порядок соединения клемм, нумерацию и расположение в жгутах проводов, способы их крепления. Применяются при монтаже, ремонте и проверке всего электрического оборудования.

Наибольшее распространение получили принципиальные развернутые схемы. Для облегчения их прочтения элементы цепей и различные аппараты размещают не так, как они установлены на электровозе, а исходя из удобства начертания самой схемы. Позиция контактов и аппаратов показана в «нормальном» состоянии, когда рукоятки контроллера машиниста находятся в нулевых положениях, а катушки электромагнитных реле и контакторов обесточены. Если несколько контактов обозначены одинаковыми цифрами (буквами), это свидетельствует о принадлежности их к одному аппарату и одновременности срабатывания при переключении позиций контроллера.

При прочтении электрических схем следует иметь в виду, что направление прохождения постоянного (либо мгновенного значения переменного) тока принято от «+» до «—». Если на пересечении двух проводов поставлена жирная точка, значит они соединены друг с другом. При отсутствии такой точки провода изолированы между собой.

## **§ 21. Схема силовых цепей электровоза постоянного тока**

На рис. 36 показана принципиальная развернутая схема силовых цепей шестиосного электровоза типа EL 1, выполненная с отдельными сокращениями. Обозначения машин и аппаратов здесь приняты следующие: Д1, ..., Д6 — якоря тяговых двигателей; ОВ1, ..., ОВ6 — их обмотки возбуждения; БВ — быстродействующий выключатель; R1, ..., R15 и W1, ..., W15 — блоки пускотормозных резисторов; А — амперметры для измерения тока тяговых двигателей, включаемых в силовые цепи через шунты; V — вольтметры для определения напряжения в контактной сети, подсоединенные через резисторы  $r$ .

Цифрами на схеме обозначены: 7 и 8 — центральные и боковые токоприемники; 9 — их разъединители; 10 — разрядники (на случай перенапряжения контактной сети); 17 — все контакторы тормозного переключателя (их 18 — по три на тяговый двигатель);

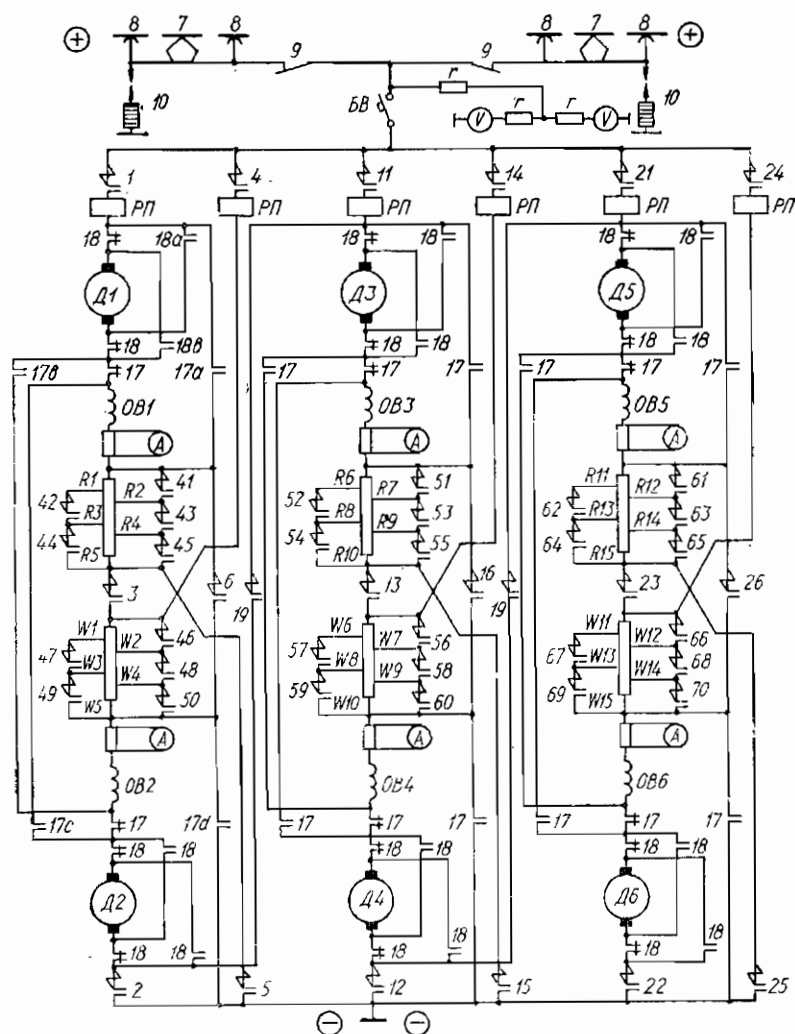


Рис. 36. Принципиальная схема силовых цепей электровоза.

18 — высоковольтные контакты реверсора (их 24 — по четыре на двигатель).

Линейные и реостатные контакторы, управление которыми осуществляется от главной рукоятки контроллера машиниста, отмечены цифрами 1—6, 11—16, 21—26 и 41—70. Все они имеют дугогасительные камеры, что обозначается на схеме скошенным знаком Z.

Диаграмма замыканий и размыканий линейных и реостатных контакторов в зависимости от положения главного вала контрол-

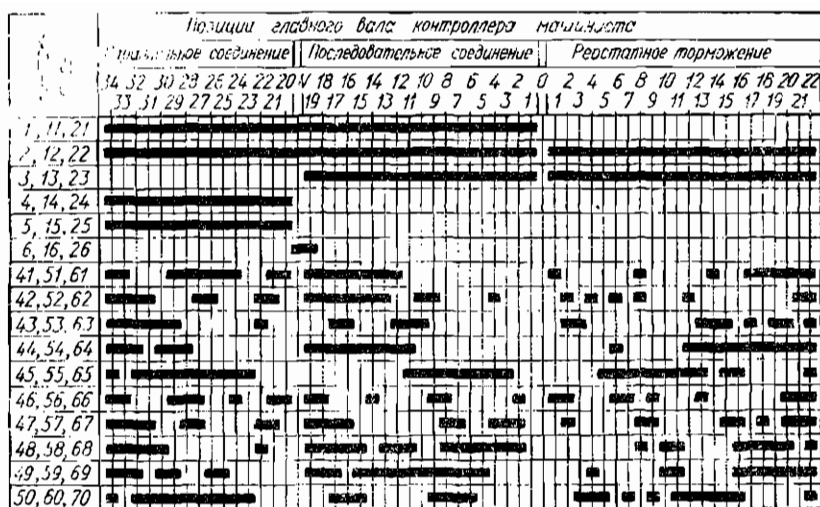


Рис. 37. Диаграмма замыкания контактов в цепях тяговых двигателей электро-  
воза ЕЛ1.

дера приведена на рис. 37\*. Замкнутость контактора показана здесь черной линией. Совместное рассмотрение принципиальной схемы и диаграммы позволяет оценивать работу электрических цепей при любом положении контроллера.

Пусть машинист установил реверсатором режим «Д в и ж с н и е в п е р е д» и передвинул ручку контроллера на первую позицию. Линейные контакторы 1, 11, 21, 2, 12 и 22, а также 3, 13 и 23 замкнутся. Остальные разомкнуты. От поднятого токоприемника 7 или 8 через подсоединенные разъединители 9 и быстродействующий выключатель БВ ток разветвится по цепям тяговых двигателей.

Поскольку попарная работа двигателей 1—2, 3—4 и 5—6 принципиально одинакова, будем рассматривать только первую пару. Контактры 1, 2 и 3 замкнуты, ток пойдет на «минус» (рельс) последовательно через все элементы, изображенные на схеме по вертикали: контактор 1, реле перегрузки РП, якорь Д1, обмотку возбуждения ОБ1, шунт амперметра, резисторы R1, ..., R5, контактор 3, резисторы W1, ..., W5, шунт амперметра, обмотку ОБ2, якорь Д2 и контактор 2.

При описании цепи не упоминались замкнутые контакторы 16 (реверсор) и 17 (тормозной переключатель), по которым проходит ток. Следовательно, на первой позиции -- трогание электровоза при полностью включенных пускотормозных резисторах. Соединение каждой пары двигателей -- последовательное. На них (по отдельности) при напряжении в контактной сети 1500 В приходится по 750 В.

\* Далее по тексту см. рис. 36 и 37.

Постепенно поворачивая вал контроллера до позиции 19, машинист обеспечивает ступенчатое отсоединение пусковых резисторов. Фактически они объединены в параллельно-последовательные группы, переключающиеся заодно с шунтированием резисторов при наборе позиций, так что с каждым перемещением вала контроллера общее сопротивление группы уменьшается.

Позиция 19, когда пусковые резисторы полностью зашунтированы контактором 6, является ходовой низкой скорости, при которой разрешается работа электровоза длительное время. Следующая позиция *U* — промежуточная (для подготовки к переключению на параллельное соединение тяговых двигателей).

На позициях 20—34 контакторы 3, 13, 23 и 6, 16, 26 разомкнуты; вместо них замкнуты 4, 14, 24 и 5, 15, 25. Будем продолжать изучение первой пары двигателей (остальные работают аналогично). На позиции 20 контакторы 3 и 6 разомкнуты, а 1, 4, 2 и 5 — замкнуты, поэтому образуются две параллельные цепи: первая — контактор 1, реле РП, двигатель Д1 с обмоткой возбуждения ОВ1, шунт амперметра, резисторы  $R_1, \dots, R_5$ , контактор 5 и «минус»; вторая — контактор 4, реле РП, резисторы  $W_1, \dots, W_5$ , шунт амперметра, обмотка ОВ2, якорь Д2, контактор 2 и также «минус».

В каждой рассмотренной цепи — по одному из двигателей. Следовательно, все они подсоединены параллельно на напряжение контактной сети. Скорость электровоза при этом возрастает. По мере дальнейшего поворота ручки контроллера постепенно выключаются пусковые резисторы и на позиции 34 все они зашунтированы (высокая скорость).

Таким образом, в режиме «Движение вперед» обеспечиваются: трогание электровоза с составом, изменение частоты вращения двигателей при переключении ходовых позиций контроллера, длительная работа на низкой и высокой скоростях (соответственно позиции 19 и 34).

В режиме «Движение назад» прохождение тока по цепям несколько изменится: произойдет переключение всех двадцати четырех контактов 18, причем нормально замкнутые из них разомкнутся, и наоборот. Ток от контактора 1 через реле РП и контакт 18а поступит к двигателю Д1 снизу; с верхнего же ввода якоря через контакт 18в он пойдет на обмотку ОВ1, а далее по цепям, что и ранее в положении «Движение вперед».

Аналогично прохождение тока изменится в якорях всех остальных тяговых двигателей, а в обмотках возбуждения останется тем же. В результате направление вращения двигателей станет иным, чем и обеспечится движение электровоза назад. Работа других цепей при переключении позиций контроллера будет прежней.

Режим реостатного торможения осуществляется при постановке реверсивной и главной рукояток соответственно в позиции «Торможение» и 1—22. При этом двигатели отсоединяются от контактной сети (контакторы 1, 11 и 21 разъединены) и включаются на реостатно-тормозные резисторы. Обмотки возбуждения соединяются с якорями перекрестно (Д1 и ОВ2, Д2 и ОВ1, Д3 и ОВ4).

Д4 и ОВ3, Д5 и ОВ6, Д6 и ОВ5). Тяговые машины находятся в генераторном режиме; их мощность гасится на резисторах.

Рассмотрим работу пары двигателей 1 и 2. В режиме реостатного торможения все контакторы 17 переключаются: нормально замкнутые — в разомкнутое положение, а нормально разомкнутые — в замкнутое. Последние из них для удобства обозначены как 17а, 17в, 17с и 17д. Ток от верхнего ввода якоря двигателя Д1 пойдет через контакторы 18 и 17а на резисторы R1, ..., R5, а далее, поскольку контактор 3 замкнут, — на резисторы W1, ..., W5, шунт амперметра, обмотку ОВ2, контакторы 17в и 18. Затем он поступит на нижний ввод двигателя Д1.

Итак, цепь указанного двигателя замкнута на резисторы R1, ..., R5 и W1, ..., W5, причем ток направлен через них (по схеме) сверху вниз. На те же резисторы замкнется и цепь двигателя Д2, от верхнего ввода которого ток идет через контакторы 18 и 17с, запитывает обмотку возбуждения ОВ1, затем через шунт амперметра и контактор 3 поступает сверху вниз соответственно на резисторы R1, ..., R5 и W1, ..., W5. Далее через контакторы 17д, 2 и 18 цепь замыкается на нижнем вводе двигателя Д2. Остальные тяговые машины включаются аналогично.

Поворотом главной рукоятки контроллера на позициях 1—22 обеспечиваем постепенное отсоединение резисторов. Длительное торможение допускается в положениях 5, 7, 9 и 10; другие из них могут потребоваться только на короткое время (чтобы избежать перегрева резисторов).

В режиме медленного хода контакторы 1 и 22 включены, а 11, 21, 2 и 12 — выключены. Дополнительно подсоединяются контакторы 19; положение остальных соответствует позициям 1—19 при последовательном включении тяговых машин.

Ток от контактора 1 направляется сверху вниз по цепям двигателей Д1 и Д2 (как было рассмотрено в режиме движения), затем с нижнего ввода Д2 через контакторы 18 и 19 — к вводу Д3; далее проходит цепь двигателей Д3 и Д4, от них аналогичным путем — цепь Д5 и Д6; потом через контактор 25 он поступает на «минус».

Таким образом, все двигатели включены последовательно, на каждый из них приходится напряжение 250 В, в результате чего частота вращения будет минимальной при положении 1 и несколько возрастет при наборе позиций до 19-й. На остальных из них в режиме медленного хода работать нельзя; главная рукоятка контроллера машиниста блокируется.

## **§ 22. Упрощенные схемы цепей электровозов переменного тока.** **Цепи управления**

Рассмотренные в предыдущем параграфе силовые цепи электровоза постоянного тока содержат 47 контакторов, переключающихся под токовой нагрузкой. Они работают в тяжелых условиях, часто подвергаются воздействиям электрической дуги, требуют постоян-



Переход с первой на вторую зону регулирования осуществляется в четыре последовательные операции:

- 1) замыкается контактор 12;
- 2) запираются тиристоры Т1 и Т2, при этом вместо них в схеме работают вентили В2 и В3, запитанные от контактора 12;
- 3) размыкается контактор 11 (к данному моменту он обесточен);
- 4) замыкается контактор 13, вследствие чего на тиристорное плечо подается напряжение от двух секций вторичной обмотки трансформатора (а1 — 8).

После проделанных операций снова изменяют угол отпирания тиристоров от  $180^\circ$  эл. до нуля. Поскольку вентили В1 и В3 находятся под напряжением первой зоны (а1 — 7), тиристоры Т1 и Т2 откроются лишь при таком угле  $\alpha$ , когда среднее значение  $U$  на выходе превысит напряжение первой зоны. Тогда же закроются вентили В2 и В3, а контактор 12 после обесточивания разомкнется. Напряжение на тяговых двигателях будет плавно возрастать до величины, снимаемой с секции а1 — 8.

Переход на третью зону осуществляется аналогично: 14-й контактор срабатывает (и тиристоры запираются), 13-й — размыкается, а 15-й — замыкается. После этого тиристоры отпирают, в результате напряжение на двигателях плавно повысится и будет соответствовать трем секциям а1—9. В такой же последовательности реализуется переход и на четвертую зону — полную вторичную обмотку трансформатора (а1 — х1).

Рассмотренная схема применяется на отечественных тяговых агрегатах ОПЭ1А и ОПЭ2. Плавное регулирование напряжения позволяет на 7—10% улучшить тяговые характеристики локомотива.

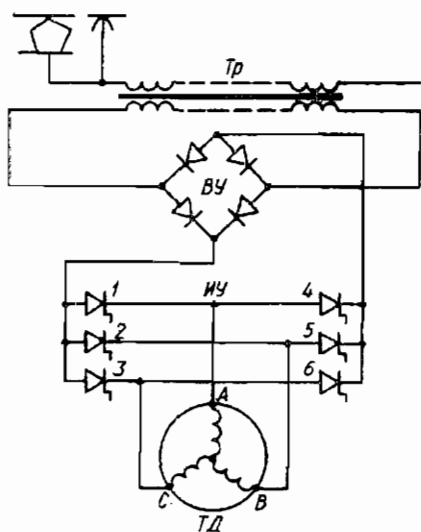


Рис. 39. Схема включения асинхронного тягового двигателя.

Весьма целесообразным является создание электропоездов с трехфазными асинхронными короткозамкнутыми двигателями. Упрощенная схема (рис. 39) состоит из трансформатора Тр и выпрямителя ВУ, с выхода которого постоянный ток поступает на инвертор ИУ, позволяющий (при помощи шести групп тиристоров, открываемых и закрываемых со сдвигом по фазе) преобразовать постоянный ток в трехфазный переменный, причем частота последнего может плавно изменяться в широких пределах.

Тяговый двигатель ТД — асинхронный с короткозамкнутым ротором — не имеет коллекторного механизма и вращающихся обмоток, благодаря чему представ-

ляется возможность уменьшить его массу и намного повысить надежность (в этом главное преимущество схемы).

Регулирование тяги и скорости такого электровоза осуществляется путем изменения напряжения и частоты трехфазного тока двигателей.

Высокое напряжение не должно подключаться непосредственно к пульту кабины машиниста. Поэтому все цепи управления выполнены на низкое значение  $U = 50$  В (источником здесь служат мотор-генераторы и аккумуляторные батареи).

Указанные цепи имеют сложную структуру, присущую системам автоматического регулирования. Они:

- «управляют» всеми режимами работы тяговых двигателей и вспомогательных машин электровоза;

- блокируют возможность неправильного включения контакторов и аппаратов;

- автоматизируют ряд процессов, которые нецелесообразно или нельзя поручать машинисту.

*Управление токоприемниками* осуществляется с помощью системы кнопок либо многопозиционными переключателями. Нажав соответствующую кнопку (или поставив в нужное положение переключатель), машинист замыкает цепь управления электропневматического вентиля, открывающего доступ сжатого воздуха в цилиндры токоприемника. Если при этом не закрыты двери высоковольтных камер, блокировка не позволит ему подняться в рабочее положение.

После длительной стоянки электровоза в резервуарах может не оказаться сжатого воздуха. Тогда его подкачивают с помощью вспомогательного мотор-компрессора, питающегося от аккумуляторной батареи.

*Включение быстродействующих выключателей* также производится низковольтной цепью, управляемой машинистом с пульта.

*Управление вспомогательными машинами* (мотор-компрессорами, мотор-генераторами и пр.), запускаемыми вслед за подъемом токоприемников и замыканием быстродействующего выключателя, выполняется с помощью индивидуальных кнопочных пускателей.

*Управление тяговыми двигателями* осуществляется поворотами реверсивной и главной рукояток контроллера. Вначале замыкаются низковольтные его контакты, ток управления проходит через блокировки, а затем воздействует на систему срабатывания индивидуальных и групповых контакторов.

Блокировочные устройства, не позволяющие схемам пуска, разгона либо торможения «собраться» неправильно, защищают двигатели от перегрузок. Например, если схема пусковых резисторов не разобрана, т. е. часть их осталась запунтированной, включение первой позиции главной рукоятки не повлечет за собой трогания электровоза.

Разрабатываются и внедряются системы автоматического управления тяговыми двигателями (автомашинист), исключющие

пуск и разгон «вручную», а также предоставляющие большую возможность для обеспечения безопасности движения.

### Контрольные вопросы

1. Как работают силовые электрические цепи электровоза EL1 в режимах «Движение вперед», «Движение назад», реостатного торможения и медленного хода?
2. Почему длительное движение допускается на позициях 19 и 34 (см. рис. 37), а на других из них рекомендуется работать краткосрочно?
3. В чем принцип плавного регулирования напряжения тяговых агрегатов ОПЭ1А и ОПЭ2?
4. Почему контакторы 11, 13, 15 и 17 (см. рис. 38) не имеют дугогасительных камер?
5. Какое главное преимущество электровозов с асинхронными двигателями?

## Глава 7. ТИПЫ И ПАРАМЕТРЫ ЭЛЕКТРОВОЗОВ И ТЯГОВЫХ АГРЕГАТОВ

### § 23. Электровозы и тяговые агрегаты постоянного тока

К числу первенцев отечественного электровозостроения для промышленного транспорта относятся электровозы типа ПКП и IVКП, созданные на заводе «Динамо» в 30—50-е гг. Они выпускались серийно и эксплуатировались на ряде карьеров и металлургических заводов. К настоящему времени первые из них (ПКП) практически полностью списаны, а вторые (IVКП) продолжают работать на некоторых предприятиях, претерпев различные модернизации.

Электровоз IVКП — четырехосный с колесной формулой  $2_0 + 2_0$  (двухосные тележки с моторными осями соединены между собой). Кузов — пониженный. Часовая мощность равна 832 кВт, что явно недостаточно для современных условий работы, особенно на карьерном транспорте.

С образованием и развитием СЭВ парк промышленных электровозов значительно пополнился за счет поступления их из ГДР и ЧССР.

Электровозы EL1 (шестиосный) и EL2 (четырёхосный) предназначены для использования в карьерном хозяйстве (табл. 3). Они оборудованы тяговыми двигателями типа СНМ 350/1500 (часовая мощность 350 кВт при напряжении 1500 В) и унифицированной электрической аппаратурой. Торцовые части кузовов, имеющих по два поста управления, понижены и скошены для улучшения обзора. Кузов локомотива EL1 (см. рис. 16) состоит из двух частей, что облегчает вписывание в кривые малого радиуса.

Шестиосные электровозы 13Е, 21Е и 26Е (см. табл. 3) также эксплуатируются в основном на открытых горных разработках. Серия 21Е — это улучшенная конструкция локомотива 13Е: параметры те же, но надежность и способность к длительным перегрузкам — выше; тяговые двигатели обладают часовой мощностью 260 кВт. Кузов выполнен из трех отдельных секций, связанных

Т а б л и ц а 3. Основные параметры электровозов постоянного тока

Параметры	Электровозы					Тяговые агрегаты		
	IVКП-I	EL1	EL2	21E	26E	ВЛ26	ПЭ1	ПЭ2
Колесная формула	$2_0+2_0$	$2_0+2_0+2_0$	$2_0+2_0$	$2_0+2_0+2_0$	$2_0+2_0+2_0$	$3_0-3_0$	$3(2_0-2_0)$	$3(2_0-2_0)$
Сцепная масса, т	80	150	100	150	150	120	368	368
Номинальное напряжение контактной сети, В	1500	1500	1500	1500	1500	3000	3000	3000
Часовой режим:								
— мощность, кВт	832	2020	1350	1510	2460	1100	5460	5460
— сила тяги, кН	118	242	162	194	310	235	680	680
— скорость, км/ч	24,7	30	30	28	28,7	16,8	28,9	28,9
Конструкционная скорость, км/ч	70	65	65	65	65	80	65	65
Длина по осям автосцепок, мм	12200	21320	13820	20960	21470	17020	51306	51306
Показатели металлоемкости (отношение массы к мощности часового режима), кг/кВт	96,2	74,2	74,2	99,4	72,5	109	51	45,4
								51

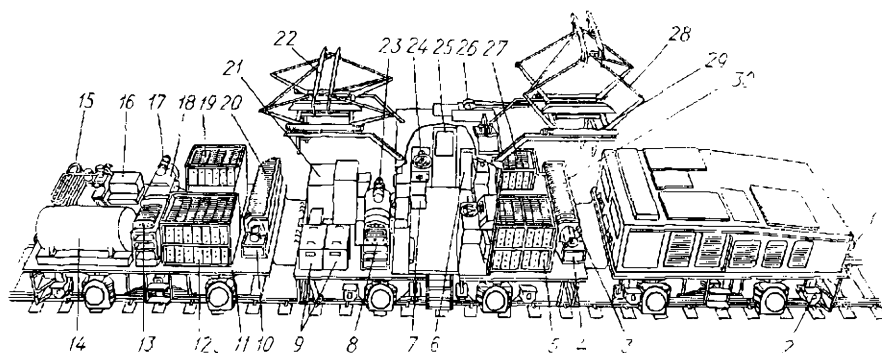


Рис. 40. Схема размещения оборудования на электровозе 21Е:

1 — сигнальный фонарь; 2 — ящик песочницы; 3 — пневматический двигатель главного контроллера; 4, 10 — реверсоры; 5, 12, 19, 27 — пускотормозные резисторы; 6 — электрическая печь; 7 — отключающий барабан; 8 — вспомогательный компрессор; 9 — аккумуляторная батарея; 11 — крайняя секция; 13 — дополнительный резистор двигателя вентилятора; 14 — главный воздушный резервуар; 15 — змеевик охладителя; 16 — мотор-компрессор; 17, 23 — генераторы управления; 18 — мотор-вентилятор; 20, 30 — главные контроллеры; 21 — быстродействующий выключатель; 22, 28 — центральные токоприемники; 24 — контроллер управления; 25 — дверь; 26 — боковой токоприемник; 29 — прожектор.

между собой только электрическими кабелями. Крайние секции пониженные, а в средней из них размещена кабина машиниста с двумя постами управления.

На рис. 40 показана схема расположения оборудования на электровозе 21Е. В кабине машиниста установлены (по два) контроллеры, пульты (для пневмотормозов) и посты управления, имеющие различные приборы (вольтметры напряжения в контактной сети, амперметры тока в тяговых двигателях, манометры давления в тормозной аппаратуре и главных резервуарах, электрические speedометры и измерители температуры двигателей), а также кнопки управления токоприемниками, компрессорами, освещением, отоплением, вентиляцией, быстродействующими выключателями) и пр.

Сравнительно низкая мощность локомотива 21Е ограничила его применение в глубоких карьерах и с поездами большого веса. Электровоз 26Е (см. табл. 3) имеет повышенные осевые нагрузки, что позволило увеличить сцепную массу с 150 до 180 т. Часовая мощность каждого тягового двигателя возросла до 425 кВт. Этот локомотив — наиболее мощный из всех, рассмотренных ранее.

Для работы на предприятиях с системой энергоснабжения постоянного тока напряжением 3000 В предназначены шестисосные контактно-аккумуляторные электровозы серии ВЛ26, отличающиеся тем, что на участках, где нет контактной сети, они могут работать в автономном режиме, получая питание от специально установленной аккумуляторной батареи.

Тяговые агрегаты постоянного тока ПЭ1, ПЭ2 и ПЭ2<sup>м</sup> (см. табл. 3), эксплуатируемые в глубоких карьерах, имеют силу тяги в 2—3 раза выше, чем единичные локомотивы. Такой агрегат (ПЭ2, например), состоящий из электровоза управления и двух думпка-

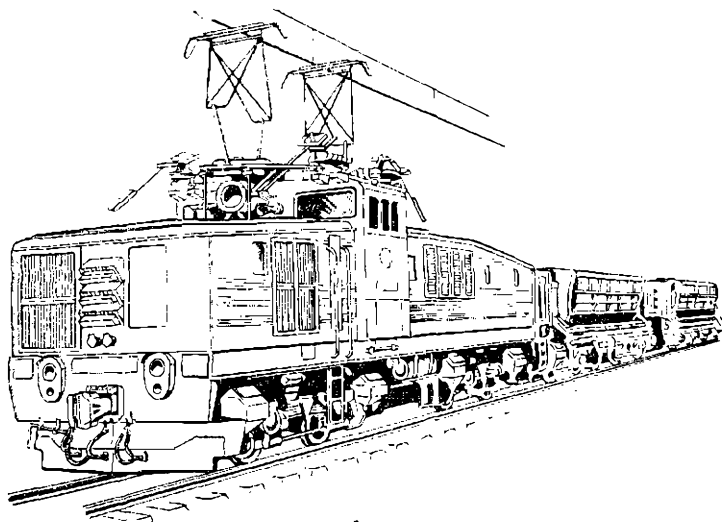


Рис. 41. Тяговый агрегат серии ИЭ2.

ров с моторными осями (рис. 41), может работать при напряжении 3000 или 1500 В. В последнем случае параметры ухудшаются (примерно вдвое), так как не реализуется полная мощность и снижается частота вращения двигателей.

Опыт эксплуатации тяговых агрегатов на карьерном транспорте показал значительные преимущества перед электровозами, работающими в сцепе по системе многих единиц. Экономичность этих агрегатов обуславливается их более низкой металлоемкостью (см. табл. 3), а также использованием перевозимого груза для обеспечения сцепного веса моторных думпкаров.

## § 24. Электровозы и тяговые агрегаты переменного тока

Первым отечественным промышленным электровозом переменного тока на напряжение 10 кВ был четырехосный локомотив серии Д100<sup>м</sup> (табл. 4), выпускаемый с инвенторными (после — кремниевыми) выпрямителями и водяным (затем — воздушным) охлаждением.

Четырехосный электровоз Д94 (рис. 42) развивает часовую мощность и силу тяги выше, чем шестиосные локомотивы постоянного тока 21Е. В нем же лучше реализуются механические свойства, что связано с более прогрессивным регулированием частоты вращения тяговых двигателей путем ступенчатого изменения напряжения вторичной обмотки трансформатора.

Недостатки обоих электровозов — отсутствие реостатного торможения и малый сцепной вес. Для работы в современных глубо-

Таблица 4. Основные параметры электровозов переменного тока

Параметры	Электровозы		Тяговые агрегаты			
	Д100М	Д94	ЕЛ10	ОПЭ1	ОПЭ2	ОПЭ1А
Колесная формула	2 <sub>0</sub> —2 <sub>0</sub>	2 <sub>0</sub> —0 <sub>0</sub>	3 (2 <sub>0</sub> —2 <sub>0</sub> )	2 (2 <sub>0</sub> —2 <sub>0</sub> )	3 (2 <sub>0</sub> —2 <sub>0</sub> )	3 (2 <sub>0</sub> —2 <sub>0</sub> )
Сцепная масса, т	100	94	366,5	240	372	372
Часовой режим:						
— мощность, кВт	1390	1635	4770	4370	5325	5325
— сила тяги, кН	162	196	668	550	650	650
— скорость, км/ч	31	30	25,7	30	29,5	29,5
Мощность источника автономного питания, кВт	—	—	550	1470	—	1105
Конструкционная скорость, км/ч	70	85	50	65	65	65
Длина по осям автосцепок, мм	15460	16400	52300	40260	51506	51306

ких карьерах более эффективными являются тяговые агрегаты переменного тока (см. табл. 4). Один из них — ЕЛ10 (контактно-дизельный) имеет электровоз управления с дизельной секцией и два прицепных моторных думпкара (рис. 43). Кузов пониженный с одной кабиной машиниста.

Агрегат ЕЛ10 оборудован кремниевыми вентилями с воздушным охлаждением. Для реостатного торможения применены пере-

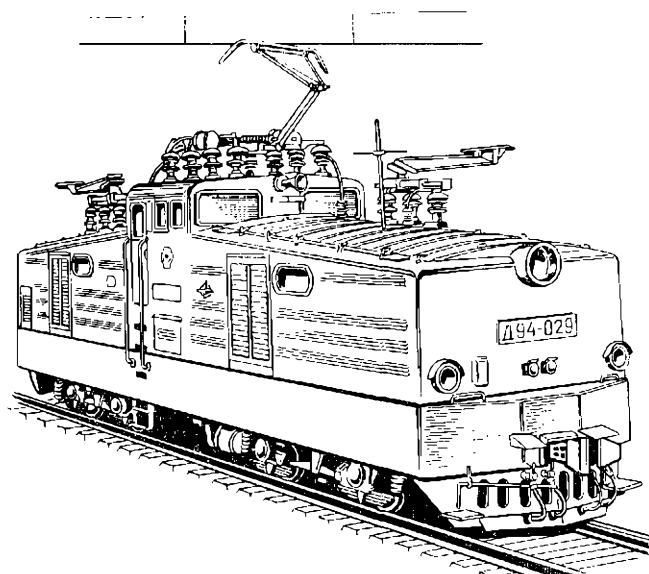


Рис. 42. Электровоз серии Д94.

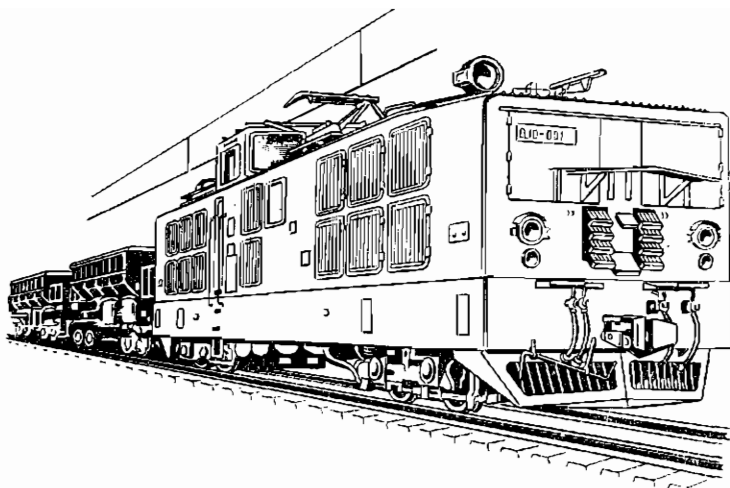


Рис. 43. Тяговый агрегат серии EL10.

гулируемые резисторы; изменение же тормозной силы достигается увеличением или уменьшением тока возбуждения тяговых двигателей, функционирующих в генераторном режиме. Мощность дизельной установки (550 кВт) недостаточна для соблюдения необходимых параметров работы на передвижных погрузочных путях.

Отечественный тяговый агрегат переменного тока серии ОПЭ1 (контактно-дизельный, без думпкаров) состоит из электровоза управления и прицепной дизельной секции с моторными осями, мощность которой 1470 кВт. Недостаток таких агрегатов — вагонная форма кузова, что создает ряд затруднений в работе.

Агрегат ОПЭ2 — это электровоз и два моторных думпкара. Конструкция механической части в данном случае унифицирована с локомотивом постоянного тока серии ПЭ2 (см. рис. 41). Здесь — плавное тиристорное регулирование напряжения на тяговых двигателях при бестоковой коммутации контакторов главного контроллера и новая система реостатного торможения (постоянное изменение тока возбуждения).

В тяговом агрегате ОПЭ1А вместо одного из моторных думпкаров поставлена дизельная секция мощностью 1105 кВт; в остальном данный агрегат унифицирован с предыдущим (ОПЭ2).

## § 25. Электровозы магистрального транспорта

Магистральные электровозы разделяют на грузовые и пассажирские (табл. 5). По мощности они отличаются несущественно, главное различие состоит в том, что первые реализуют повышенную силу тяги при меньшей скорости движения, в то время как вторые развивают ее (высокую) при пониженной такой силе.

Таблица 5. Основные параметры магистральных электровозов

Параметры	Грузовые электровозы				Пассажирские	
	ВЛ22 <sup>М</sup>	ВЛ8	ВЛ10	ВЛ80 <sup>К</sup>	ЧС2	ЧС4
Ток в контактной сети	постоянный	постоянный	постоянный	переменный	постоянный	переменный
Напряжение, В	3000	3000	3000	25000	3000	25000
Осевая формула	$3_0+3_0$	$2_0+2_0+2_0+2_0$	$2_0-2_0-2_0-2_0$	$2(2_0-2_0)$	$3_0-3_0$	$3_0-3_0$
Сцепная масса, т	132	180	184	184	123	123
Часовой режим:						
— мощность, кВт	2100	4200	5200	6520	4200	5100
— сила тяги, кН	234	345	385	442	162	170
— скорость, км/ч	36,1	42,6	47,3	51,6	91,5	106
Конструкционная скорость, км/ч	75	100	100	110	160	180
Длина по осям авто-сцепок, мм	16390	27520	32840	32840	18920	19980

У магистральных электровозов ограничены максимальные осевые нагрузки, что обусловило необходимость строить грузовые локомотивы в основном шести- и восьмиосными.

Производительность магистрального электровоза зависит не только от веса поезда, но и скорости движения, которая для грузовых локомотивов достигает 110 км/ч, а для пассажирских — 180 км/ч. Ее повышение обеспечивается преимущественно ослаблением магнитного потока возбуждения тяговых двигателей.

Магистральные электровозы постоянного тока работают при напряжении контактной сети 3000 В. Шестiosные грузовые локомотивы ВЛ22<sup>М</sup>, выпускаемые до 1958 г., перестали отвечать в полной мере потребностям транспорта при непрерывно повышающихся весовых нормах и скоростях движения поездов. На смену им пришли восьмиосные электровозы ВЛ8 и ВЛ10.

Грузовой локомотив ВЛ80<sup>К</sup> переменного тока для напряжения 25000 В состоит из двух четырехосных секций; мощность часового режима — 6520 кВт, что на 22% выше, чем в агрегатах ОПЭ2 (но сила тяги последних больше на 46%).

Пассажирские электровозы ЧС2 и ЧС4 поставляются в нашу страну Чехословацкой Социалистической Республикой.

Конструктивно магистральные электровозы имеют кузова вагонного типа с двумя кабинами машинистов. Тяговые двигатели постоянного или пульсирующего тока в грузовых локомотивах снабжены опорно-осевой, а в пассажирских — опорно-рамной подвесками. Электровозы постоянного тока оборудованы системой рекуперативного торможения, что существенно повышает эффективность их применения.

## Контрольные вопросы

1. Какие типы электровозов и тяговых агрегатов постоянного тока применяются на промышленном транспорте?
2. Какие типы электровозов и тяговых агрегатов переменного тока используются на промтранспорте?
3. Какие типы магистральных электровозов эксплуатируются в нашей стране?

## Глава 8. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ТЕПЛОВОЗАХ

### § 26. Технико-экономические преимущества и общее устройство тепловоза

Тепловоз — современный высокоэффективный локомотив, не требующий, в отличие от электровоза, постоянного питания энергией от контактной сети. Установленный на нем двигатель внутреннего сгорания преобразует химическую энергию топлива в механическую, которая используется затем для создания вращающего момента на колесных парах и силы тяги.

Автономность тепловоза предопределила его широкое распространение на промышленном транспорте, особенно на действующих предприятиях, где перевод на электротягу сопряжен с большими затратами при строительстве контактной сети и обеспечении необходимой безопасности. Так, в черной металлургии тепловозы составляют более 70% всего локомотивного парка.

Тепловозная тяга экономически выгодна также для многих вновь возводимых предприятий, поскольку ее внедрение требует средств в полтора раза меньше, чем при электровозной тяге. В ряде случаев выбор тепловозов диктуется сроком пуска объекта. К примеру, их применение на новых карьерах с небольшими уклонами путей зачастую позволяет на год и более ускорить начало горнодобывающих работ, так как не надо сооружать линий электропередач, подстанций, контактной сети.

Тепловозы имеют высокий коэффициент полезного действия, достигающий 32%, что примерно в пять раз выше, чем у паровозов. Экономятся, следовательно, топливно-энергетические ресурсы.

К недостаткам тепловозов относятся ограниченная сила тяги, неспособность работать в режимах перегрузок, а также сравнительно сложная конструкция, особенно у локомотивов с электрическими передачами.

Главной частью тепловоза является дизель — двигатель внутреннего сгорания с самовоспламенением топлива в цилиндрах. Для нормальной работы дизель необходимо постоянно обеспечивать топливом, а также очищенным воздухом, смазкой, водой для системы охлаждения. Данные функции выполняет вспомогательное оборудование тепловоза.

Вал дизеля не может быть непосредственно соединенным с колесными парами, поскольку при этом нельзя достичь требуемой тяговой характеристики тепловоза. Например, в момент трогания состава с места нужно развить большую мощность, для чего часто-

та вращения вала доводится до номинальной, а колесные пары только начинают вращаться. По мере же разгона соотношение между указанными частотами уменьшается. Вот почему на тепловозе применяют специальный промежуточный агрегат — передачу, которая обеспечивает подвод мощности от дизеля к колесным парам и позволяет в широких пределах изменять скорость их вращения.

Тепловоз имеет также экипажную часть и кузов с необходимым оборудованием. Кабина машиниста 1 (рис. 44), расположенная со стороны заднего торца локомотива, снабжена основным и выносным пультами управления, скоростемером, системой контроля бдительности машиниста, а также приборами управления тормозами, песочницами, звуковыми сигналами. Кабина установлена на резинометаллических амортизаторах, оборудована специальной тепловой и звуковой изоляцией, отоплением, вентиляцией, стеклоочистителями, поворотными сидениями и умывальником, что создаст достаточный комфорт для локомотивной бригады.

Помещения, находящиеся перед кабиной машиниста, сделаны уже ее, благодаря чему улучшается обозрение пути и сигналов при движении вперед.

В примыкающем к кабине отделении 2 размещена аккумуляторная батарея, необходимая для питания электрических цепей при неработающем дизеле, а также для его запуска. Это помещение защищает кабину от проникновения шума с машинного отделения 3, где расположен дизель 6. Необходимый для его работы воздух всасывается через фильтры воздухоочистителя 8, а выхлопные газы выпускаются в атмосферу через глушитель 7. Топливо содержится в баках 12 под главной рамой 10 тепловоза.

Вращающий момент от вала дизеля через упругую муфту 11 передается на унифицированную гидравлическую передачу 4, а от нее через карданные валы 13 — на осевые редукторы, соединенные с колесными парами тепловоза. Одновременно дизель приводит во вращение через специальные редукторы воздушный компрессор 14 и вспомогательный генератор 5. Последний (главного генератора на рассматриваемом тепловозе нет) питает электрооборудование и заряжает аккумуляторную батарею, а компрессор обеспечивает сжатым воздухом тормозную магистраль локомотива и поезда, а также механизмы разгрузки вагонов.

С переднего торца тепловоза размещен холодильник 9, предназначенный для охлаждения воды и масла, циркулирующих в дизеле и гидropередаче. Главная рама 10 опирается на две двухосные тележки 15, оборудованные приборами торможения 17. Для предотвращения боксования колесных пар служат песочницы 16. Продольные тяговые усилия на вагоны передаются автосцепками 19.

В изучаемом тепловозе применена гидравлическая передача; если же используется электрическая, то от вала дизеля приводится во вращение главный генератор, а выработанная им энергия подается на тяговые электродвигатели, которые создают вращающие моменты колесных пар.

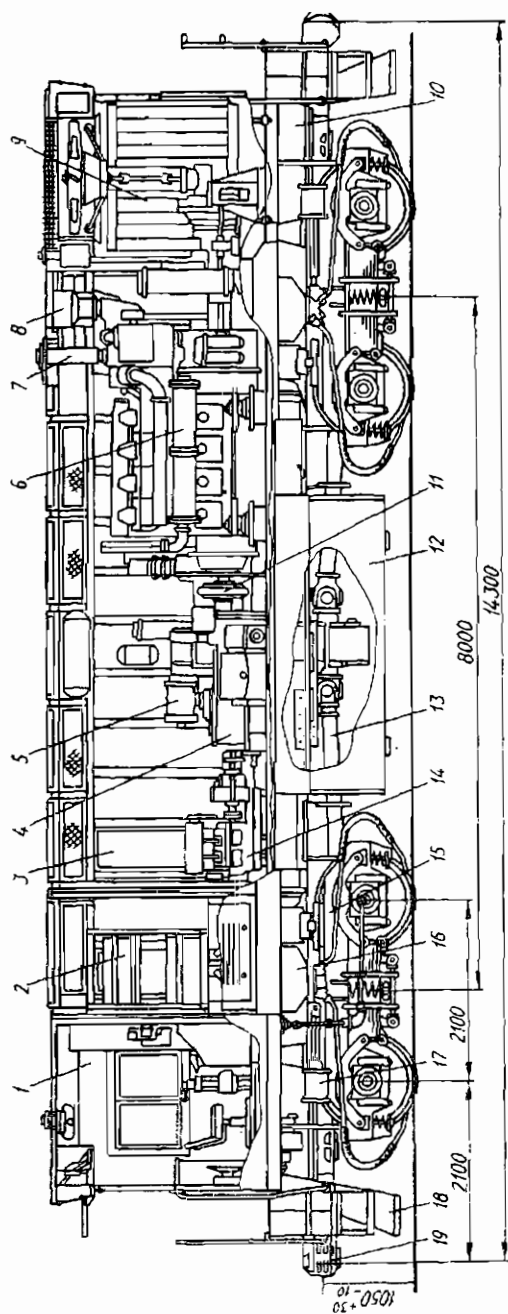


Рис. 44. Тепловоз ТГМ6А (продольный разрез):  
 1 — кабина машиниста; 2 — аккумуляторное отделение; 3 — машинное отделение; 4 — гидравлическая передача; 5 — вспомогательный генератор; 6 — дизель; 7 — глушитель; 8 — фильтр воздухоочистителя; 9 — холодильник; 10 — главный бак; 11 — топливный бак; 12 — топливный бак; 13 — карданный вал привода осевых редукторов; 14 — воздушный компрессор; 15 — тормозной цилиндр; 16 — подложка; 17 — автоцепка; 18 — автоцепка; 19 — автоцепка.

## § 27. Классификация тепловозов и их типаж

По своему назначению существуют тепловозы *грузовые, пассажирские, маневровые и вывозные*. Особенность первых из них — сравнительно большая мощность, вторых — высокая конструкционная скорость, третьих — обеспечение быстрого разгона и торможения состава, частого изменения направления движения (реверсирования), хорошего прохождения кривых участков пути. Последние из названных качеств присущи и вывозным тепловозам, но при большей конструкционной скорости.

На промышленном транспорте применяют в основном маневровые и вывозные локомотивы, гораздо реже — грузовые.

В зависимости от типа установленной передачи различают тепловозы:

- с электрической передачей, когда механическая энергия дизеля превращается в электрическую, а вращение колесных пар обеспечивается тяговыми электродвигателями;

- с гидравлической передачей, при которой мощность от дизеля на колесные пары подводится специальным устройством, в конструкции которого использованы гидроаппараты;

- с механической передачей, состоящей, как у автомобиля, из муфты сцепления и коробки скоростей.

На тепловозах протранспорта мощностью до 1000 кВт преимущественное распространение получила гидравлическая передача, электрическая же применяется на более мощных локомотивах и ряде серий маневровых и вывозных. Механическая передача, не обеспечивающая надежной работы при мощности двигателя свыше 150 кВт, в настоящее время чаще встречается на мотовозах.

По конструкции экипажной части тепловозы делятся на *тележечные* и с *жесткой рамой*. В первом случае колесные пары расположены в тележках, а во втором — объединены указательной рамой.

Как и у электровозов, конструкции ходовых частей характеризуются *колесными формулами*, запись которых аналогична вышеописанной (см. § 6).

По способу передачи вращающего момента различают тепловозы с *индивидуальным приводом*, когда каждая колесная пара приводится во вращение независимо от остальных, и с *групповым приводом*, когда названный выше момент сообщается всем им сразу или же нескольким.

На промышленном транспорте эксплуатируются большей частью *односекционные* тепловозы, а в некоторых случаях для повышения мощности (как и на магистральных линиях) — *двух- и трехсекционные*, управляемые с одной кабины машиниста.

Тепловозы классифицируют также по сериям и основным параметрам. К последним относятся мощность, конструкционная скорость, масса\*, расчетная сила тяги, осевая нагрузка, габаритные размеры, характеристика главного оборудования.

\* Часто говорят «сцепная масса», подчеркивая ее участие в создании сил сцепления колес с рельсами.

Таблица 6. Основные параметры размерного ряда тепловозов для промтранспорта и маневровых

Тип	Масса тепловоза, т	Мощность по дизелю, кВт	Число сцепных осей, шт.	Нагрузка от колесных пар на рельсы, кН	Сила тяги длительного режима, кН	Скорость(км/ч) при режиме		Мини- мальный радиус вписыва- ния в кривые, м	Область применения
						длитель- ном	макси- мальном		
Широкая колея									
I	180	1475	8	220	265	11	80	80	Маневровая и вывозная работа на железных дорогах и предпри- ятиях
II	135	885	6	220	198	9	80	80	
III	90	885/590	4	220	186	13/8	80	80	
IV	68	590/440	4	167	137	11/8	60	60	Маневровая работа на железных дорогах и предприятиях
V	45	295	3	147	93	8	60	40	
VI	30	220	2	147	59	9	60	40	
Узкая колея									
VII	24	295	4	59	49	14	56	40	Вывозная и маневровая работа
VIII	18	220	4	44	37	9	40	40	
IX	12	90	4	29,5	24,5	9	40	35	

Анализ применения тепловозов на промтранспорте позволяет наметить коренные направления в развитии их конструкций, установить соответствующие типы и основные параметры. В результате подобного анализа определяется размерный ряд, или типаж\* тепловозов на ближайшую перспективу (табл. 6). Первые их три типа, как видим, предназначены для вывозной и маневровой работы. Здесь принята одинаковая нагрузка ( $p$ ) от колесной пары на рельсы, число же осей ( $n'$ ) взято различное. Масса тепловоза

$$Q = p n' / g, \quad (13)$$

где  $g$  — ускорение силы тяжести ( $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ ).

Мощность дизеля рассчитывается таким образом, чтобы удовлетворить эксплуатационные требования и в полной мере использовать сцепную массу. Удельная его мощность, т. е. приходящаяся на 1 т этой массы, составляет 6,5—10 кВт/т.

Для типа III размерного ряда допускается строительство локомотивов двух мощностей, что показано в табл. 6 дробью. Тепловоз ТГМ6А, общее устройство которого рассмотрено выше, относится именно к данному типу (числитель).

Предусматривается также по три типа тепловозов только для маневровой работы (IV—VI) и для узкой колеи (VII—IX). Более низкие нагрузки от колесных пар на рельсы предопределили снижение сцепной массы, мощности дизеля и других характеристик.

## § 28. Газотурбовозы

В будущем на промышленном транспорте широкое применение могут найти газотурбовозы — локомотивы, где в качестве первичных двигателей служат газотурбинные установки, основными частями которых являются компрессор, камера сгорания и газовая турбина.

Сжатый в компрессоре до давления 0,5—0,6 МПа воздух подается в камеру сгорания, куда с помощью форсунки впрыскивается также топливо. Здесь оно воспламеняется. Образующаяся затем воздушно-газовая смесь направляется с высокой скоростью через сопловой аппарат на рабочее колесо турбины, которое, вращаясь, производит определенную мощность. Одна ее часть расходуется для привода компрессора, а другая — для создания силы тяги локомотива.

Преимущества таких двигателей заключаются в возможности использования дешевого низкосортного топлива, уравновешенности вращающихся частей, сравнительно высокой мощности при малых габаритах и весе. Недостатки построенных опытных газотурбовозов — повышенная еще их стоимость и низкий коэффициент полезного действия. Исследования по совершенствованию конструкции этих перспективных локомотивов продолжаются.

\* Такой типаж разработан Всесоюзным научно-исследовательским тепловозным институтом (ВНИТИ).

## Контрольные вопросы

1. В чем заключаются преимущества тепловозов? Почему на многих предприятиях осуществлен переход с паровой тяги на тепловозную, а не на электрическую?
2. Назовите главные части тепловоза ТГМ6А и их назначение.
3. Как классифицируют тепловозы по типу передач, конструкции экипажной части и по приводу колесных пар?
4. С какой целью установлен размерный ряд (типаж) тепловозов и как он построен?
5. В чем заключается принцип действия газотурбовоза?

## Глава 9. ЭКИПАЖНАЯ ЧАСТЬ ТЕПЛОВОЗОВ

### § 29. Тележки

Ходовые части большинства современных тепловозов выполняются в виде тележек, где размещаются колесные пары, рессорное подвешивание, тяговый привод и тормозные устройства. Все эти

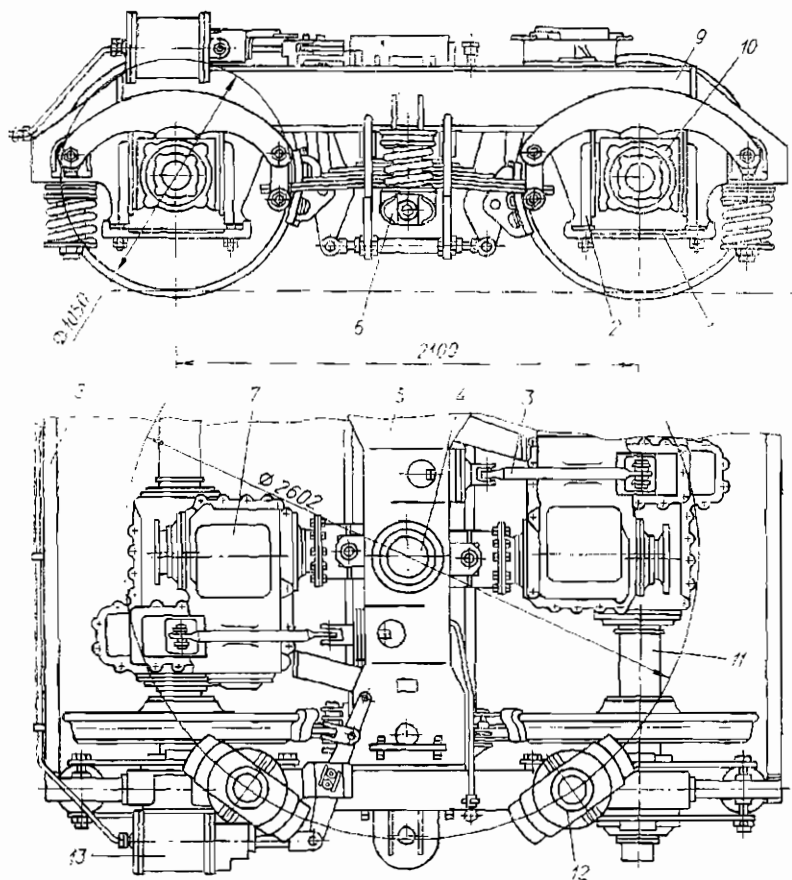


Рис. 45. Тележка тепловоза ТГМ6А.

детали объединены мощной стальной рамой, воспринимающей нагрузки, которые передаются от кузова и колесных пар.

Двухосная тележка тепловоза ТГМ6А с гидравлической передачей (рис. 45) имеет сварную раму, состоящую из двух боковых продольных, центральной шкворневой и двух концевых поперечных балок — соответственно 9, 5 и 8. К первым из них приварены литые буксовые челюсти 2, с помощью которых фиксируется положение букс 10 и колесных пар 11. Каждая пара челюстей скреплена снизу буксовой стрункой 1. Вертикальные нагрузки от кузова и рамы тепловоза передаются на четыре опоры 12, расположенные по окружности диаметром 2602 мм. В центре этой окружности имеется шкворень 4, который воспринимает горизонтальные усилия со стороны кузова. Раздельное приложение к тележке вертикальных нагрузок на четыре опоры способствует улучшению плавности хода тепловоза. Трение в опорах гасит «виляния» тележки (повороты относительно шкворня в горизонтальной плоскости на величину зазора колесной пары в рельсовой колее), а также уменьшает боковую качку кузова (колебания относительно продольной оси, проведенной через автосцепки).

От рамы тележки через систему рессорного подвешивания 6, нагрузки передаются на буксы и колесные пары, каждая из которых приводится во вращение от осевого редуктора 7, связанного со шкворневой балкой реактивной тягой 3 (чтобы исключить его повороты относительно оси колесной пары). Позиция 13 на рисунке — тормозные устройства.

Тележки тепловозов с электрической передачей имеют аналогичную конструкцию, но вместо осевых редукторов здесь устанавливаются тяговые двигатели с опорно-осевой подвеской.

### **§ 30. Колесные пары и буксы**

Колесная пара 1 тепловоза с гидropередачей (рис. 46) состоит из оси и двух цельнокатанных колес диаметром 1050 мм. Соединение их с осью производится тепловым способом. Для этого отверстия в ступицах делают несколько меньшими, чем диаметры подступичных частей оси. Вследствие нагрева указанные отверстия увеличиваются, и колеса свободно надеваются на ось. После остывания получаются прочные соединения с натягом. Шестерню 5, имеющую по обеим своим сторонам подпунктики 4 и 6 с лабиринтовыми уплотнениями, также закрепляют тепловым способом.

Затем на колесную пару надевают осевой редуктор 2, служащий для передачи вращающего момента от карданного привода. Этот редуктор снабжен конической и цилиндрической зубчатыми передачами, которые уменьшают частоту вращения колес по сравнению с приводом в 4,24 раза.

Для сочленения с рамой тележки на шейки оси колесной пары устанавливаются буксы 3, особенность которых заключается в том, что они не только передают все нагрузки на упомянутые шейки,

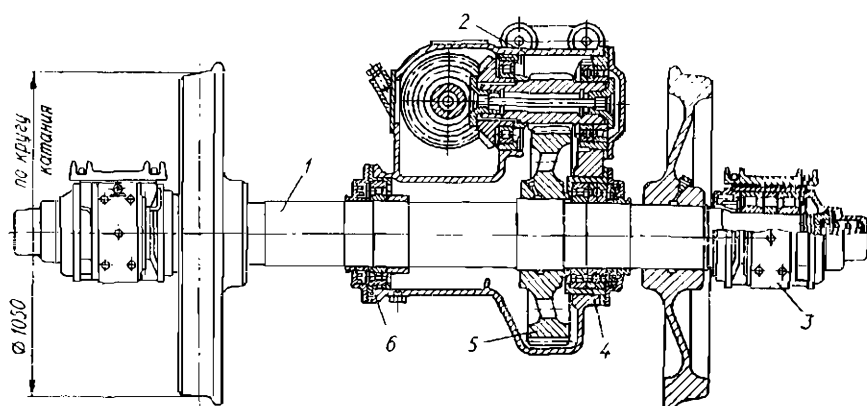


Рис. 46. Колесная пара тепловоза в сборе с буксами и осевым редуктором.

но одновременно смягчают горизонтальные поперечные силы взаимодействия локомотива и пути.

В корпусе 7 буксы тепловоза ТГМ6А (рис. 47) содержится необходимое количество смазки и размещены два цилиндрических подшипника 6\*, которые могут воспринимать только радиальные нагрузки.

При действии осевых сил ролики свободно смещаются относительно внутренних колец подшипников. Такие силы, если они на-

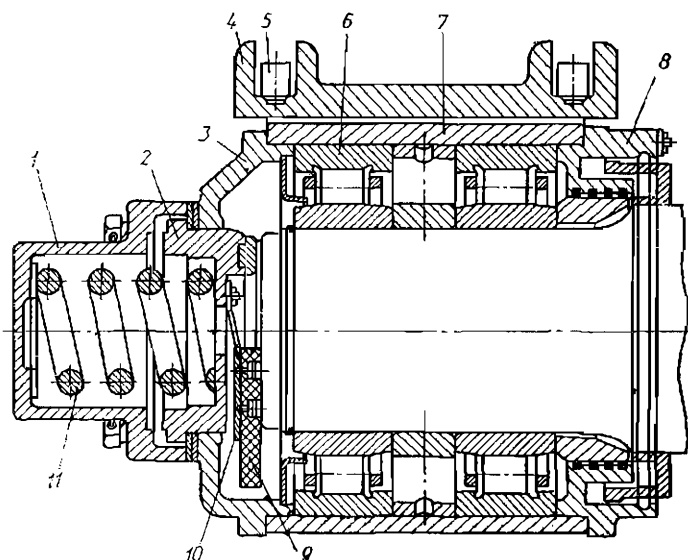


Рис. 47. Букса с роликовыми подшипниками (на тепловозе).

\* Весь парк тепловозов в нашей стране оборудован роликовыми подшипниками, не требующими повседневного ухода и обеспечивающими низкий коэффициент трения.

правлены влево, передаются от торца оси на упор 2, от него — на пружину 11 и далее — на корпус 1, а затем через наружные детали — на раму тележки. Если же эти силы направлены вправо, то их воспринимают аналогичные детали буксы на противоположном конце оси. Описанный способ передачи горизонтальных нагрузок обеспечивает их амортизацию пружиной 11.

Для снижения сил трения упора 2 о торец вращающейся оси последний постоянно смазывается фитилем 9, прижимасмым пластинчатой пружиной 10. Нижняя его часть погружается в жидкую смазку, для заливки которой в крышке буксы предусмотрено отверстие.

Проникновению в буксу влаги и пыли, а также утечке смазки препятствуют передняя и задняя крышки — 3 и 8. Внешняя нагрузка на корпус 7 передается от специальной детали тележки — балансира, размещающегося на закаленных опорах 5 арки 4.

При электрической передаче колесные пары тепловозов имеют конструкцию, сходную с той, которая применяется на электровозах.

## § 31. Рессорное подвешивание

Для уменьшения воздействий на кузов тепловоза и его оборудование динамических сил и ускорений служит рессорное подвешивание тележки, конструкция которого выбирается такой, чтобы обеспечить равномерную передачу нагрузок на колесные пары. А это, в свою очередь, способствует лучшему использованию тяговых свойств локомотива.

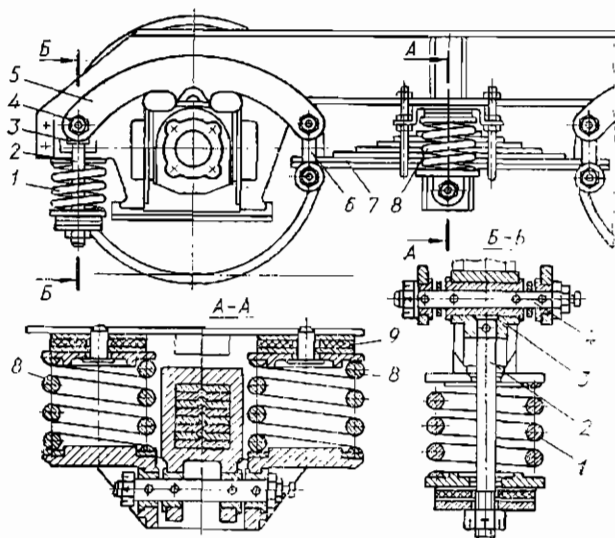


Рис. 43. Рессорное подвешивание тележки тепловоза.

На всех телесажечных тепловозах промышленного транспорта (кроме ТЭМ5) применено так называемое четырехточечное подвешивание: рессоры и пружины, расположенные с одной стороны каждой тележки, соединяются балансирами и образуют одну его ступень (или точку).

Устройство рессорного подвешивания показано на рис. 48. Боковина рамы тележки по концам (сечение Б—Б) опирается на пружины 1, а посредине (сечение А—А) — на резиновые амортизаторы 9 и пружины 8. От угловой пружины 1 нагрузка передается через стержень 2 с головкой 3 и валиком 4 на балансиры 5, который другим своим концом соединяется тягой 6 с листовой рессорой 7, имеющей точку опоры в сечении А—А.

Балансир и рессора выполняют функции равноплечных рычагов, которые постоянно выравливают нагрузку между колесными парами.

### § 32. Тяговый привод

В тепловозах с гидравлической передачей вращающий момент на колесные пары сообщается с помощью карданных валов и осевых редукторов.

К выходному валу гидропередачи 5 (рис. 49) присоединяется раздаточный вал 4. Вторым своим концом он сочленен с осевым редуктором 3 первой колесной пары. С противоположной стороны этого редуктора присоединяется телесажечный вал 2, который передаст вращающий момент на осевой редуктор 1 второй колесной пары.

Карданные валы, наряду с передачей мощности, обеспечивают также независимость колебаний каждой колесной пары и агрегата гидропередачи, укрепленного на главной раме тепловоза. Раздаточный вал, кроме того, допускает повороты тележки относительно кузова при движении по кривым участкам пути.

Тяговый привод тепловозов с электрической передачей близок по конструкции к приводу колесных пар электровозов, но выполняется он односторонним. При опорно-осевом подвешивании, которое применяется на таких тепловозах, вращающий момент от тягового электродвигателя 2 (рис. 50) передается зубчатой шестерней 3 ведомому колесу 4, расположенному на оси 5. На последнюю

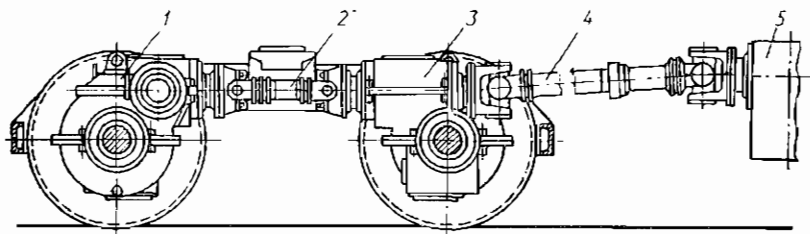
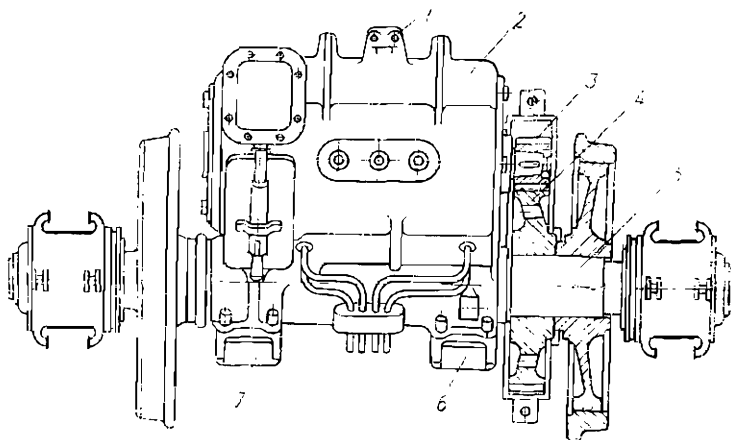


Рис. 49. Тяговый привод колесных пар тепловоза ТГМ6А.



**Рис. 50.** Установка тягового электродвигателя и привод колесной пары тепловоза ТЭМ2 (вид сверху).

опирается подшипниками скольжения 6 и 7 указанный выше двигатель. Кронштейном 1 он крепится посредством пружинной подвески к шкворневой балке рамы тележки.

### § 33. Кузова и главные рамы тепловозов

Тепловозные кузова в отличие от электровозных не могут быть пониженными, так как в них размещаются дизели и другое крупногабаритное оборудование. Поэтому они строятся *вагонного* и *капотного* типов — соответственно для тепловозов магистральных поездных и для промышленного транспорта.

В кузове вагонного типа кабина машиниста связана внутренним коридором с помещением, где расположена силовая установка, что позволяет бригаде обслуживать ее, не выходя наружу. Но здесь при движении назад затруднен обзор пути. Чтобы обеспечить достаточно хорошую видимость в обоих направлениях, кузов капотного типа выполняется суженным, кроме кабины машиниста, занимающей всю ширину габарита. При этом для доступа к дизелю и другим агрегатам предусмотрены обходная площадка, двери в боковых стенках и люки в потолках помещений. Такой кузов (в отличие от цельнометаллического вагонного типа) не является несущим, т. е. он не участвует в восприятии вертикальных и продольных нагрузок, действующих на локомотив.

В качестве примера на рис. 51 показан кузов тепловоза с электрической передачей. Он состоит из камеры холодильника 1, секций над двигателем 2 и высоковольтной камерой 3, кабины машиниста 4 и аккумуляторной секции 5. В тепловозах с гидropередачей высоковольтная камера отсутствует; на ее месте расположено аккумуляторное помещение (см. рис. 44).

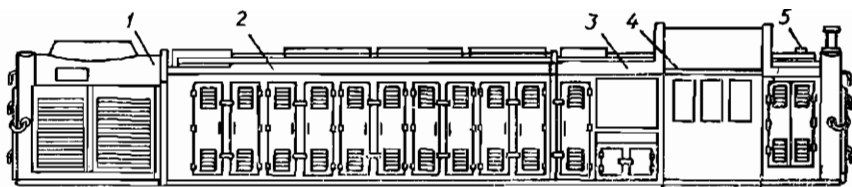


Рис. 51. Кузов тепловоза.

Главные рамы тепловозов, выполненные в виде мощных конструкций, изготовленных путем сварки балок и листов из прокатной стали, воспринимают все нагрузки (а в несущих кузовах — часть их) от веса оборудования, а также передают силы тяги и торможения. По концам рамы устанавливаются автосцепки и поглощающие аппараты. С тележками она соединяется посредством специальных опор и шкворней.

Небольшое количество тепловозов имеет бестележечную конструкцию. В рамах таких локомотивов сделаны буксовые вырезы и поставлены детали для сочленения с колесными парами.

### Контрольные вопросы

1. Из каких частей состоит тележка тепловоза ТГМ6А?
2. Перечислите детали колесной пары и способ их соединения между собой.
3. Каким образом обеспечивается восприятие осевых нагрузок роликовыми буксами тепловоза?
4. Как устроено рессорное подвешивание?
5. Для чего предназначены раздаточный и тележечный карданные валы?
6. В чем различие тяговых приводов тепловозов (с электрической передачей) и электровозов?
7. Какие типы кузовов применяются на тепловозах промышленного и магистрального транспорта?

## Глава 10. ДВИГАТЕЛИ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ ТЕПЛОВОЗОВ

### § 34. Принцип работы и классификация дизелей

Основными деталями дизеля (рис. 52) являются цилиндр 2 с форсункой 4, впускным и выпускным клапанами — 5 и 3. В цилиндре перемещается поршень 1, соединенный с кривошипно-шатунным механизмом, т. е. с шатуном 6, кривошипом 7 и валом 8. Обычно две последние детали составляют коленчатый вал.

Воздух, поступивший в цилиндр через впускной клапан, сжимается во время хода поршня вверх и нагревается вследствие этого до температуры более высокой, чем требуется для самовоспламенения тонко распыленного топлива, впрыскиваемого через форсунку. Под давлением газов, образовавшихся при сгорании, поршень перемещается вниз и приводит во вращение коленчатый вал. Отработанные газы удаляются, и свежий воздух вновь поступает

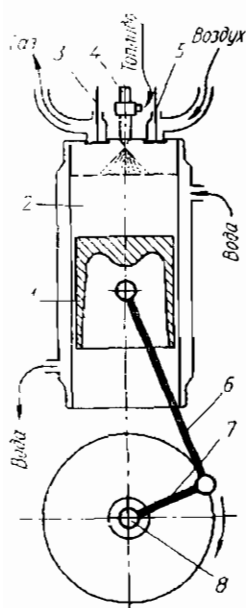


Рис. 52. Упрощенная схема дизеля.

через клапан 5. Рабочий цикл повторяется. Снаружи цилиндра циркулирует вода для предотвращения его перегрева.

Наиболее удаленное от вала положение поршня называется *верхней мертвой точкой*, а наиболее близкое — *нижней*.

В этих положениях не может создаваться вращающий момент, так как плечо между приложенной к шатуну силой и центром вала равно нулю.

Каждое перемещение поршня между мертвыми точками понимается как такт. Если такое перемещение (после сжигания топлива) вызывает принудительный поворот коленчатого вала, то такт называют *рабочим* в отличие от *подготовительных* тактов, во время которых вал должен отдавать энергию для передвижения поршня.

Чтобы обеспечить постоянное приложение вращающего момента к коленчатому валу, тепловозные дизели имеют от 6 до 32 цилиндров, рабочие такты в которых происходят со смещением во времени (о чем указывается в соответствующих технических характеристиках).

Если в дизель подавать свежий воздух под некоторым давлением, цилиндры получают больше кислорода, улучшится сжигание топлива и, следовательно, повысится мощность. Поэтому во многих случаях предусматривается предварительное сжатие (*наддув*) воздуха.

Дизели классифицируют по следующим основным признакам:

а) по способу осуществления рабочего цикла — *двухтактные* (здесь он совершается за два хода поршня или один оборот вала) и *четырехтактные* (когда цикл реализуется за четыре хода поршня или два оборота вала);

б) по способу наполнения цилиндров воздухом — *без наддува* и *с наддувом*;

в) по расположению цилиндров — *однорядные* и *двухрядные* (чаще всего V-образные);

г) по количеству поршней в цилиндре: *с одним и с двумя встречно движущимися*;

д) по скорости перемещения поршня — *дизели средней быстроходности*, когда указанная скорость (усредненная) равна 6—9 м/с, и *быстроходные*, если она превышает 9 м/с.

## § 35. Рабочий цикл и основные технико-экономические показатели дизелей

Рассмотрим рабочий цикл четырехтактного и двухтактного дизелей при помощи индикаторных диаграмм (рис. 53), показывающих зависимость давления в цилиндре  $p$  от его объема  $V$ . Сплошные линии изображают протекание действительного цикла, а пунктирные — теоретического.

Рабочий процесс можно разделить на ряд стадий (фаз), которые связаны с движением поршня и действием клапанов.

Теоретический цикл начинается кривой  $ac$  сжатия воздуха в цилиндре от нижней  $a$  до верхней  $c$  мертвых точек. Сгорание топлива описывается участком  $cuz$ . Объем газов в конце сгорания —  $V_z$ , их давление —  $p_z$ . Далее выполняется рабочий ход  $zb$ , после которого поршень достигает нижней мертвой точки. Участок характеристики  $ba$  соответствует мгновенному (теоретически) выпуску отработанных газов и впуску свежего воздуха.

Практически наполнение воздуха в цилиндры четырехтактного двигателя начинается в точке 1 (см. рис. 53, а), когда поршень еще не дошел до верхней мертвой точки  $r$ , продолжается при обратном его движении и заканчивается в точке 2 после того, как поршень пройдет нижнюю мертвую точку  $a$ .

В двухтактном дизеле впуск воздуха и удаление продуктов сгорания производятся путем продувки цилиндра в конце рабочего такта и в начале процесса сжатия (линия 5—6—а—1—2 на рис. 53, б). Поскольку применяется наддув, давление поступившего воздуха ( $p_k$ ) выше атмосферного ( $p_0$ ). Его сжатие осуществляется при движении поршня от точки 2 к точке  $c$ . В итоге температура в цилиндре достигнет  $500\text{--}600^\circ\text{C}$ .

Впрыск топлива начинается в точке 3, а горение происходит на участке  $c\text{—}4$ . Температура в цилиндре повышается до  $1600\text{—}$

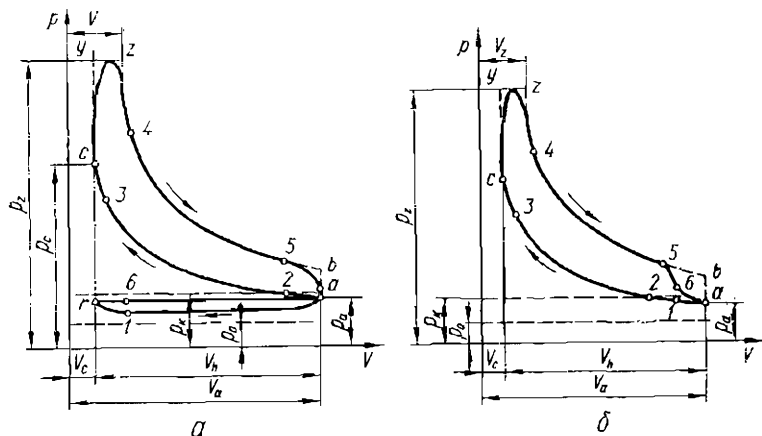


Рис. 53. Рабочие циклы четырехтактного (а) и двухтактного (б) дизелей.

1900° С, а давление — до 6—12 МПа, вследствие чего поршень совершает рабочий такт (расширение газов).

Процесс выпуска отработанных газов (5—6) начинается еще до прихода поршня в нижнюю мертвую точку. Такое опережение в четырехтактном дизеле предусмотрено с тем, чтобы к моменту указанного прихода клапаны были полностью открытыми.

У четырехтактных двигателей газораспределение (последовательность периодов впуска воздуха, сжатия, расширения и выпуска газов) осуществляется клапанным механизмом, управляемым кулачковым валом, а у большинства двухтактных дизелей все эти процессы регулируются поршнями, открывающими специально вырезанные окна в стенках цилиндров.

Полезная работа газа за цикл, называемая индикаторной работой ( $L_i$ , кДж), соответствует площади, ограниченной линиями сжатия, сгорания и расширения:

$$L_i = V_h p_i, \quad (14)$$

где  $V_h$  — рабочий объем цилиндра;

$p_i$  — среднее (постоянное) индикаторное давление, при котором за ход поршня совершается работа, равная величине  $L_i$  за весь цикл.

Мощность  $N_i$  (кВт), развиваемая газами в цилиндре, также называется индикаторной:

$$N_i = \frac{p_i V_h n i}{30\tau}, \quad (15)$$

где  $n$  — частота вращения вала, мин<sup>-1</sup>;

$i$  — количество цилиндров, шт.;

$\tau$  — тактность, т. е. число тактов за цикл (для четырехтактного двигателя  $\tau=4$ , а для двухтактного  $\tau=2$ ).

К основным технико-экономическим показателям дизелей относятся эффективная мощность, номинальная частота вращения вала, удельные величины расхода топлива и смазки, масса двигателя и его габаритные размеры.

Эффективная мощность  $N_e$ , которая развивается на валу дизеля и используется для привода всех агрегатов тепловоза, может быть выражена через индикаторную мощность:

$$N_e = N_i \eta_m, \quad (16)$$

где  $\eta_m$  — механический коэффициент полезного действия двигателя, равный 0,85—0,9.

Удельный расход топлива, характеризующий теплотехническую экономичность дизеля, измеряется в граммах на киловатт эффективной мощности в час. Минимальный такой расход для четырехтактных двигателей (при номинальной мощности) составляет около 200 г/(кВт·ч).

Для дизелей промышленных тепловозов важно, чтобы удельный расход топлива был низким в широком диапазоне изменения

частоты вращения вала, так как большую часть времени они работают с недоиспользованием мощности.

*Удельный расход смазки*, колеблющийся от 1,5 до 12 г/(кВт·ч), также имеет первостепенное значение, поскольку стоимость ее в 3—4 раза выше, чем топлива.

*Масса, как и габаритные размеры* дизелей, существенно зависит от величины скорости поршня: 13—20 кг (на каждый киловатт эффективной мощности) — для двигателей средней быстроходности и 4,5—10 кг — для быстроходных.

Параметры дизелей тепловозов промтранспорта приведены в § 37.

### § 36. Основные элементы конструкции тепловозных дизелей

На тепловозах с гидравлической передачей преимущественное распространение получили двухрядные четырехтактные дизели с V-образным расположением цилиндров.

Рассмотрим конструкцию двигателя 3А-6Д49, который устанавливается на тепловозах ТГМ6А (рис. 54). Нижняя неподвижная часть, к которой крепятся основные его детали, называется *остовом*, состоящим из блока цилиндров 4 и масляной ванны 2, где размещены маслозаборник 1 и разделительная сетка 3. В блоке устанавливаются втулки цилиндров 7 с водяными рубашками для охлаждения. Шатунно-кривошипный механизм включает в себя поршни 8 с шатунами 5 и коленчатый вал 19.

Каждый цилиндр закрывается сверху крышкой 12, внутри которой располагаются детали газораспределения: выпускной 11 и выпускной 10 клапаны, открываемые кулачковым валом 14 посредством рычагов 13. В ней же устанавливается форсунка 17, через которую подается топливо насосом высокого давления 16, работающим от вала 14.

Чем больше топлива поступает в цилиндры, тем выше индикаторное давление и скорость поршня, т. е. с помощью дозировки горючего регулируется мощность и частота вращения дизеля. Для этого используется так называемый всережимный регулятор, который воздействует на топливные насосы через механизм управления 15.

Выпускаемые из цилиндров в коллекторы 9 газы имеют некоторое остаточное давление. Перед выхлопом в атмосферу их подают на специальный агрегат — турбокомпрессор, где энергия газов используется для предварительного сжатия (наддува) свежего воздуха, поступающего по ресиверу 18. Вода для охлаждения дизеля по трубам 6 направляется в рубашки цилиндров, затем протекает по имеющимся в крышках 12 каналам и отводится в холодильник.

Блок дизеля (рис. 55) представляет собой стальной литой корпус 1, разделенный поперечными стойками 5 на четыре отсека. К верхней его части приварены детали, образующие гнезда

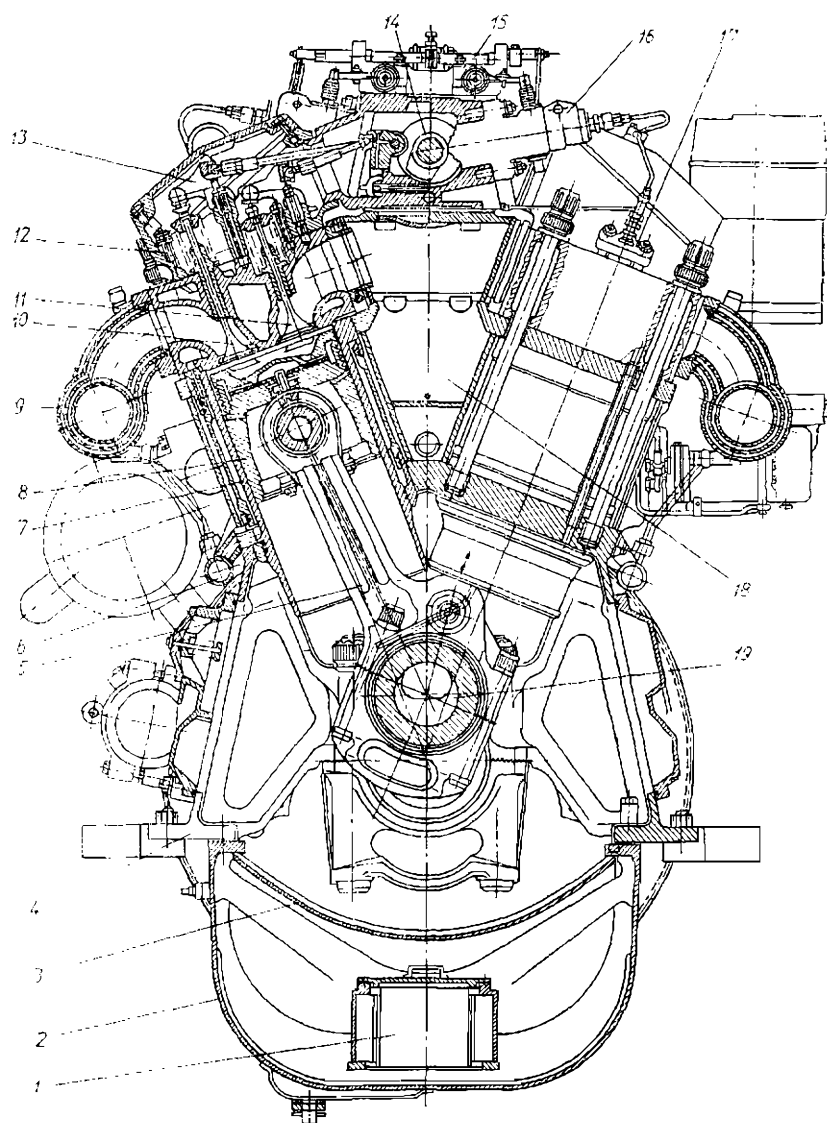


Рис. 54. Поперечный разрез дизеля 3А-6Д49:

1 — маслозаборник; 2 — масляная ванна; 3 — разделительная сетка; 4 — блок цилиндров (картер); 5 — шатун; 6 — водяная труба охлаждения; 7 — втулка цилиндра; 8 — поршень; 9 — коллектор отработанных газов; 10, 11 — выпускной и впускной клапаны; 12 — крышка цилиндра; 13 — рычажный привод клапана; 14 — распределительный вал; 15 — механизм управления подачей топлива; 16 — топливный насос высокого давления; 17 — форсунка; 18 — ресивер сжатого воздуха; 19 — коленчатый вал.

для цилиндрических втулок. Здесь же установлены шпильки 10 для крепления крышек цилиндров.

Конструкция обеспечивает размещение двух рядов цилиндров под углом  $42^\circ$  друг к другу. В развале блока расположены цент-

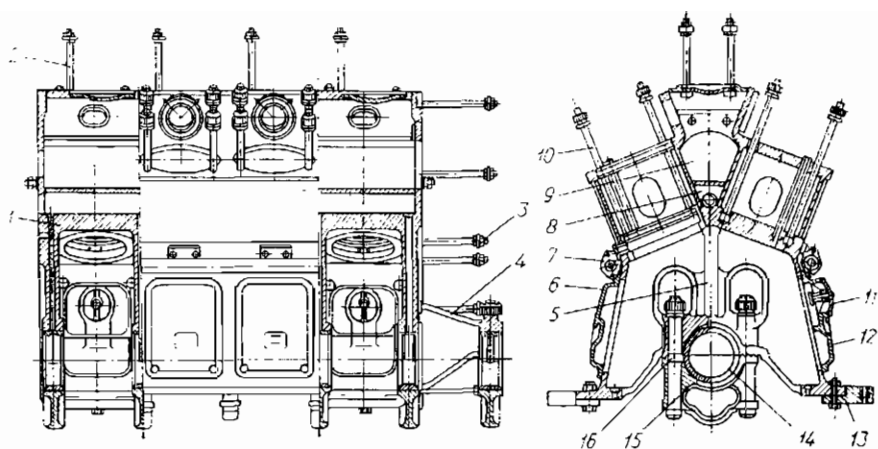


Рис. 55. Блок цилиндров дизеля 3А-6Д49.

ральный масляный канал 8 и воздушный ресивер 9. В верхней горизонтальной плите есть шпильки 2 для крепления лотка дизеля с распределительным механизмом, а в задней стенке — шпильки 3 для установки привода распределительного вала.

Нижняя часть блока цилиндров (картер) имеет шесть опор для коренных подшипников 14 коленчатого вала. Каждая из них образуется стойкой блока и присоединенной к ней болтами 16 подвесной крышкой 15. Одна из опор размещена на кронштейне 4. Боковые стенки картера оборудованы смотровыми люками с крышками 6. С правой его стороны установлены крышки 12 с клапанами 11, которые открываются, если из-за неисправностей повысится давление газов. Опоры 13 предназначены для крепления дизеля к раме тепловоза.

*Цилиндровые втулки* обычно являются съемными деталями, так как в процессе работы их внутренняя поверхность, контактирующая с движущимся поршнем, изнашивается, что и приводит к необходимости замены.

В дизеле 3А-6Д49 втулка 1 (рис. 56) крепится шестью шпильками 3 к крышке цилиндра с постановкой между ними стальной омедненной прокладки, чем достигается герметичность соединения. Верхняя часть втулки утолщенная, поскольку здесь наибольшее давление газов. Алюминиевая рубашка 2 образует полость охлаждения 5, куда вода поступает снизу, омывает втулку и через верхние отверстия подается на крышки цилиндра. Резиновые прокладки 4 и 6 (на рубашке) и 7 (на втулке) обеспечивают уплотнение водяных каналов. В блоке втулка фиксируется верхним и нижним поясами.

*Коленчатый вал* воспринимает нагрузки от сил давления газов в цилиндрах, преобразует поступательное движение поршней во вращательное и передает мощность всем агрегатам, внешним по отношению к дизелю.

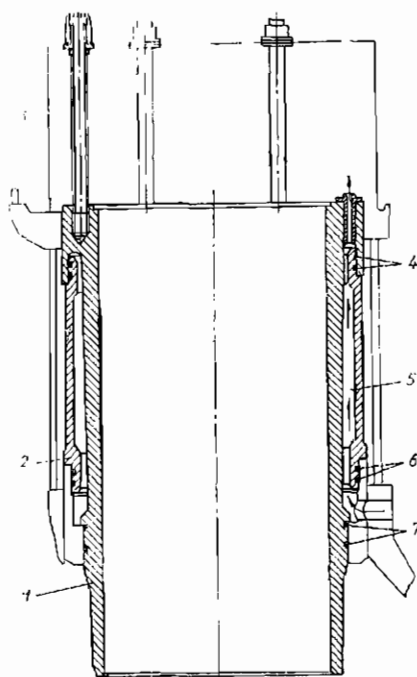


Рис. 56. Втулка цилиндра.

Вдоль оси вращения коленчатого вала расположены пять основных коренных шеек 2 и одна выносная 5 (рис. 57). Все они находятся в подшипниках блока цилиндров. Шатунные шейки 1 (их на данном дизеле четыре) установлены со смещением от оси вала, вследствие чего при его вращении возникают поперечные усилия. Для их уравновешивания применены противовесы 3.

В шейках имеются отверстия 6 и наклонные каналы, по которым подается смазка для подшипников. Передний торец коленчатого вала (на рисунке слева) соединен с агрегатами, потребляющими энергию двигателя. С заднего торца укреплен шестерня 4 для привода газораспределительного механизма.

Коленчатый вал изготовлен из высокопрочного чугуна, а поверхности шеек азотированы после их шлифовки, что повышает износостойчивость и препятствует появлению усталостных трещин.

На ряде дизелей применяются также стальные коленчатые валы с шейками, закаленными токами высокой частоты.

*Шатунно-поршневая группа* обеспечивает выполнение рабочих циклов двигателя и преобразует поступательные перемещения поршней во вращательное движение коленчатого вала.

*Поршень* действует в тяжелых условиях — при высоких температурах и давлении газов, а также при переменных механических нагрузках. Поэтому он должен быть прочным, жаростойким, легким, обладать достаточной теплопроводностью.

Поршень 3А-6Д49 (рис. 58) выполнен сборным: из стальной головки 6 и алюминиевого тронка 9, скрепленных шпильками 1.

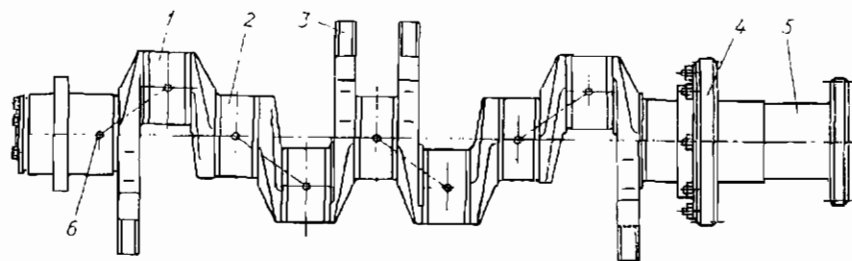


Рис. 57. Коленчатый вал.

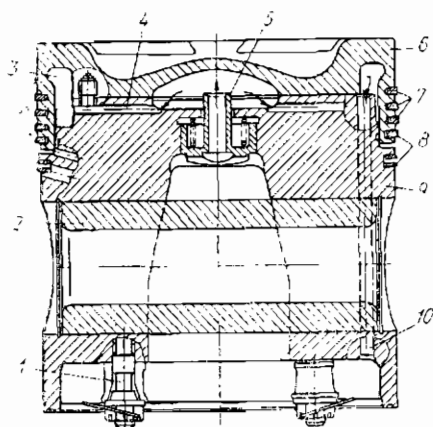


Рис. 58. Поршень дизеля ЗА-6Д49.

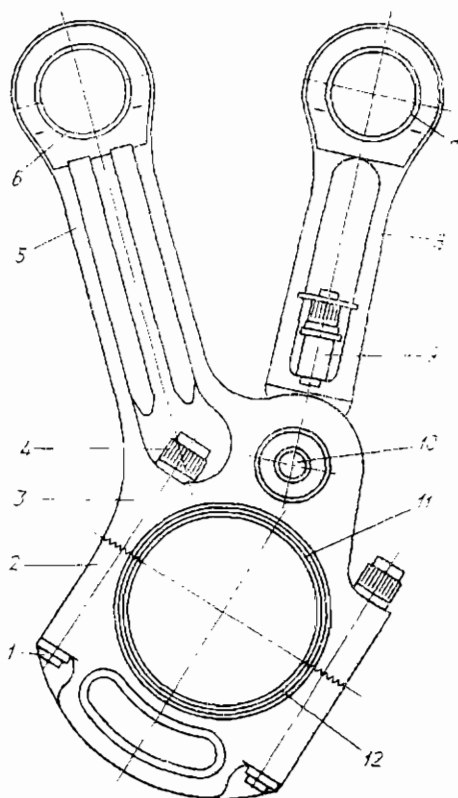


Рис. 59. Спаренный шатун.

В канавки снаружи поршня установлено пять колец, из них три верхних (7) называются компрессионными, так как не допускают утечки газов из надпоршневой части в картер, а два нижних (8) — маслосъемными, поскольку при ходе вниз они снимают со стенок цилиндра смазку, оставляя лишь тонкий слой ее для компрессионных колец.

Попадание значительного количества масла в камеру сгорания нежелательно: оно пригорает (коксуется) и ухудшает работу двигателя. Для отвода снятой смазки в тройке поршня просверлены отверстия.

Поршневой палец 2 служит для соединения с шатуном. Головка 6 охлаждается маслом, которое поступает через канал в шатуне и стакан 5, протекает по отверстиям 4 в кольцевую охлаждаемую полость 3 и сливается в картер по каналу 10. Часть тепла отводится также поршневыми кольцами к стенкам цилиндра.

Шатуны V-образного дизеля (рис. 59) спарены, что необходимо для связи двух поршней с одной шейкой коленчатого вала. Шатуны (главный 5 и прицепной 8) соединены соответственно с поршнями левого и правого рядов цилиндров. Рабочие такты осуществляются так, чтобы усилия поочередно передавались на го-

ловку, образуемую нижней частью 3 главного шатуна и крышкой 2, прикрепленной болтами 1 с гайками 4.

Отверстие головки с подшипниковыми вкладышами 11 и 12 охватывает шейку коленчатого вала. Пальцем 10 и болтами 9 прицепной шатуны присоединены к главному. В верхние головки того и другого запрессованы втулки 6 и 7, сквозь которые проходят поршневые пальцы.

Шатуны изготовлены из высокопрочной стали, втулки покрыты внутри тонким слоем свинцовистой бронзы для уменьшения коэффициента трения.

*Газораспределительный механизм* обеспечивает подачу в цилиндры свежего наддувочного воздуха и удаление отработанных газов. Основное требование в данном случае — высокая точность, так как всякое отклонение приводит к нарушению рабочего цикла двигателя, потере мощности и повышенному износу деталей.

В каждой крышке цилиндра дизеля 3А-6Д49 имеется по два впускных и выпускных клапана (см. рис. 54), которые с помощью пружин плотно прижаты к своим гнездам, т. е. стремятся постоянно находиться в закрытом состоянии. Открыть каждую пару клапанов может рычажный привод при воздействии на него соответствующего кулачка (шайбы) распределительного вала, вращение которому задаст коленчатый при помощи зубчатых шестерен. Этим обеспечивается строго определенное взаимное положение указанных валов в любой момент времени.

Наружная поверхность распределительного вала, установленного в подшипниках верхнего лотка дизеля, имеет кулачки либо шайбы, которые при его повороте нажимают на привод и открывают клапаны цилиндров. На вале с помощью шпонок и винтов зафиксированы шайбы с эксцентриковыми выступами, причем на каждый цилиндр приходится три таких шайбы: для управления топливным насосом, впускными и выпускными клапанами.

*Топливная аппаратура* предназначена для подачи в цилиндры дизеля под высоким давлением и в строго определенное время дозированных порций горючего. Его поступление в процессе работы тепловоза должно либо увеличиваться, либо уменьшаться, так как нагрузка на двигатель часто меняется. Чтобы обеспечить быстрое и полное сгорание, топливо нагнетается в топкораспыленном состоянии, перемещивается в камере сгорания цилиндра со сжатым воздухом и равномерно заполняет ее объем. Подачу и струйное распыливание осуществляют насосы высокого давления и форсунки, соединенные между собой трубками.

*Топливные насосы высокого давления* бывают индивидуальные, расположенные у каждого цилиндра, и секционные, собранные в один блок. На дизеле 3А-6Д49 установлены индивидуальные насосы (рис. 60).

Плунжер 8 движется во втулке 15 (эти детали составляют главную часть насоса — плунжерную пару). Благодаря высокой точности изготовления они сопряжены практически без зазора, чем и обеспечивается нагнетание с давлением до 50 МПа.

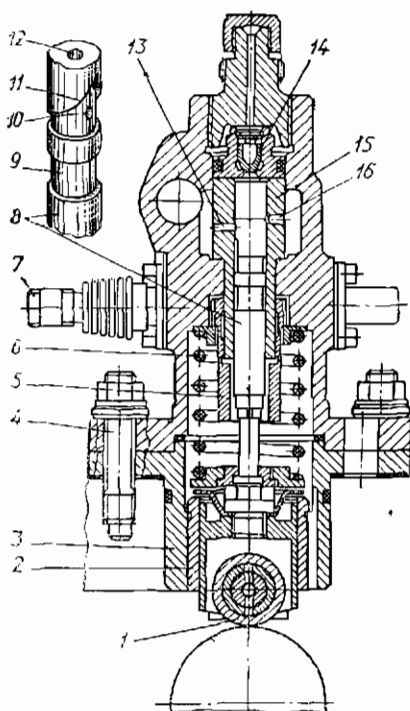


Рис. 60. Топливный насос высокого давления.

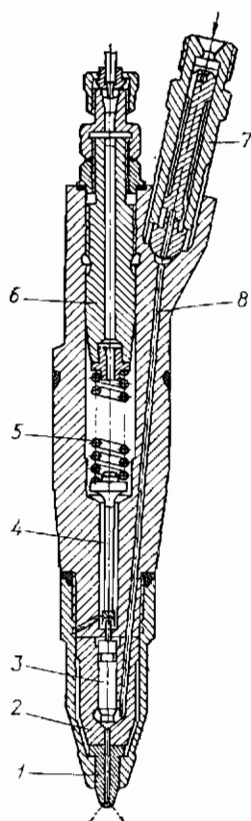


Рис. 61. Форсунка.

Топливо (через отверстие 16) подводится вовнутрь втулки при нижнем положении плунжера и заполняет весь объем над его головкой, а также кольцевую канавку (через сообщающиеся отверстия 12 и 10). Головка имеет спиральные отсечные кромки: нижнюю 11 и верхнюю (с обратной стороны). Последняя при подъеме плунжера перекрывает отверстие 16, после чего топливо давит на нагнетательный клапан 14, открывает его и подается в форсунку по трубе высокого давления до момента, когда нижняя кромка соединит кольцевую канавку с отверстием 13 во втулке. При этом клапан 14 закроется из-за резкого снижения давления над плунжером, причем дальнейшее движение вверх не вызовет нагнетания топлива, которое свободно направляется по отверстиям 12 и 10 обратно в систему.

Спиральные отсечные кромки размещены так, что при повороте плунжера по часовой стрелке (если смотреть сверху) доза подаваемого в цилиндр топлива будет уменьшаться. Этот поворот осуществляется специальным механизмом управления посредством рейки 7 и зубчатого венца 5. Подъем плунжера производится ус-

тановленным в корпусе 3 толкателем 2 с роликом 1, упирающимся в кулачковый вал, а опускание обеспечивается пружиной 6.

Чтобы при работе топливо не просачивалось в нижнюю часть насоса, на плунжере имеется широкая канавка 9, которая через отверстие во втулке соединяется с топливной системой низкого давления. Шпильки 4 служат для крепления насоса к верхнему лотку дизеля.

**Форсунки** (обычно закрытого типа) предназначены для распыления топлива и вырыскивания его в камеру сгорания цилиндра. В изучаемом двигателе они имеют сопло 1 (рис. 61) с девятью отверстиями и запорную иглу 3, проходящую через корпус распылителя 2. Топливо от насоса высокого давления поступает через щелевой фильтр 7 и канал 8 к полости в указанном корпусе. При давлении около 31,5 МПа игла перемещается вверх, а в цилиндр через сопло вырыскивается топливо. Как только его давление падает вследствие прекращения подачи, пружина 5 через штангу 4 перемещает иглу вниз, и форсунка закрывается. Для регулировки нажатия упомянутой пружины предусмотрен винт 6.

Корпус распылителя, игла и сопло являются прецизионными деталями — их поверхности плотно, без зазоров притерты друг к другу. Тем не менее при длительной работе топливо просачивается в небольших количествах по игле вверх. Для его отвода в форсунке имеется центральный канал, соединенный трубками с топливным баком тепловоза.

**Регулирующая аппаратура** предназначена для автоматического поддержания установленной частоты вращения коленчатого вала путем изменения подачи топлива в цилиндры при увеличении или уменьшении нагрузки на двигатель.

Рассмотрим упрощенную принципиальную схему *всережимного регулятора* (рис. 62), основными частями которого являются чув-

ствительный элемент центробежного типа, золотник, компенсатор и сервомотор.

Чувствительный элемент предназначен для приведения в действие регулятора при изменении частоты вращения коленчатого вала. Главные здесь детали — шестерня 5, центробежные грузы 6 и всережимная пружина 7.

Золотник обеспечивает подачу или отвод масла гидравлической системы регулятора. Он имеет управляющий 10 и компенсирующий 8 диски, тщательно притертые к стенкам корпуса (буксы).

Компенсатор представляет собой цилиндр 13 со свободным

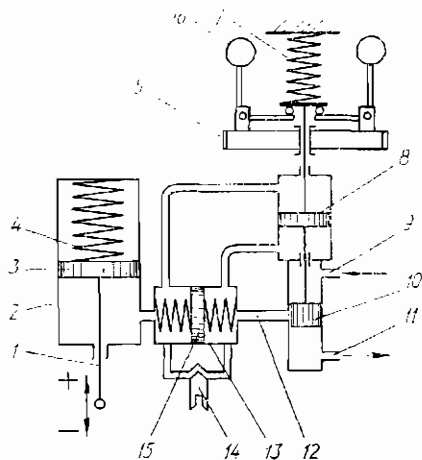


Рис. 62. Схема всережимного регулятора частоты вращения.

поршнем 15 и расположенными по обе стороны от него пружинами. Левая и правая полости цилиндра соединены между собой каналом, узкое сечение которого может изменяться при настройке регулятора с помощью иглы 14.

Сервомотор — это гидравлический усилитель, являющийся исполнительным механизмом регулятора. Он состоит из корпуса 2, поршня 3, пружины 4 и штока 1, который при ходе вверх воздействует на насосы, увеличивая подачу топлива, а при ходе вниз — уменьшает ее.

Все полости золотника, компенсатора и сервомотора постоянно заполнены маслом, которое поступает под давлением по каналу 9 и отводится по каналу 11.

Пусть в процессе работы нагрузка на дизель уменьшилась. Тогда частота вращения коленчатого вала возрастет, соответственно увеличится угловая скорость шестерни 5, а также грузов 6, которые под действием центробежных сил отклонятся от оси вращения, сожмут рычагами пружину 7 и передвинут золотник вверх, при этом его управляющий диск 10 соединит каналы 12 и 11. Масло из правой полости компенсатора 13 начнет отводиться, вследствие чего поршень 15 переместится вправо, и часть смазки из цилиндра 2 сервомотора перетечет в левую полость компенсатора. В результате поршень 3 под давлением пружины 4 передвинется вниз, а его шток 1 будет уменьшать подачу топлива. Однако из-за инерции движущихся масс дизеля снижение частоты вращения коленчатого вала произойдет не сразу, а с некоторым запозданием. Поэтому воздействие сервомотора на топливные насосы надо прекратить раньше, чем установится требуемая частота вращения, а грузы 6 займут свое нормальное положение, что достигается с помощью компенсирующего диска 8, давление под которым понизится из-за соединения нижней полости с правой частью цилиндра 13. В итоге возникает дополнительное усилие, сдвигающее золотник вниз. Как только диск 10 закроет канал 12, пружины начнут перемещать поршень 15 в среднее положение, при этом масло из левой полости цилиндра 13 перетечет по каналу с регулировочной иглой 14 в правую полость. К моменту снижения частоты вращения коленчатого вала до установленной нормы все детали регулятора займут исходную позицию; только поршень 3 со штоком 1 останутся сдвинутыми вниз, обеспечивая меньшую подачу топлива.

Если нагрузка на дизель возросла, последовательность работы деталей регулятора остается прежней, изменяется лишь направление их перемещений: золотник под действием пружины 7 сдвинется вниз, соединив каналы 12 и 9, а поршни 15 и 3 переместятся соответственно влево и вверх. В результате подача топлива в цилиндры увеличится.

Приборы управления тепловозом должны обеспечивать регулирование частоты вращения коленчатого вала дизеля, изменяя ее в зависимости от режимов движения, что достигается воздействием на пружину 7. Если усилить ее затяжку, давление на золотник повысится, и он переместится вниз. Регулятор будет увеличивать по-

дачу топлива, пока не установится требуемая частота вращения вала. И наоборот, при уменьшении затяжки пружины 7 частота эта понизится.

На тепловозе, кроме рассмотренных частей, имеются системы для поддержания длительной и устойчивой работы дизеля, а также различное вспомогательное оборудование.

Топливная система обеспечивает непрерывную подачу отфильтрованного горючего в коллектор насосов высокого давления. Поступает оно из баков по трубопроводу заборного устройства, последовательно проходя фильтры грубой и тонкой очистки. При низких температурах окружающего воздуха предусматривается подогрев топлива теплом горячей воды из системы охлаждения дизеля. В качестве топливоподкачивающих аппаратов используются шестеренчатые насосы с электрическим приводом.

Масляная система предназначена для подачи смазки к движущимся деталям, отвода от них тепла, удаления продуктов износа и частиц нагара, попадающих между поверхностями трения. Масло, циркулирующее под давлением, которое создается шестеренчатым насосом, очищается «грубым», «тонким» и центробежным фильтрами. Охлаждение его производится в секциях холодильника и специальных теплообменниках.

Водяная система служит для понижения температуры нагреваемых неподвижных деталей дизеля (втулок и крышек цилиндров, выпускных коллекторов, газовой части турбокомпрессора), а также масла в теплообменниках и наддувочного воздуха,

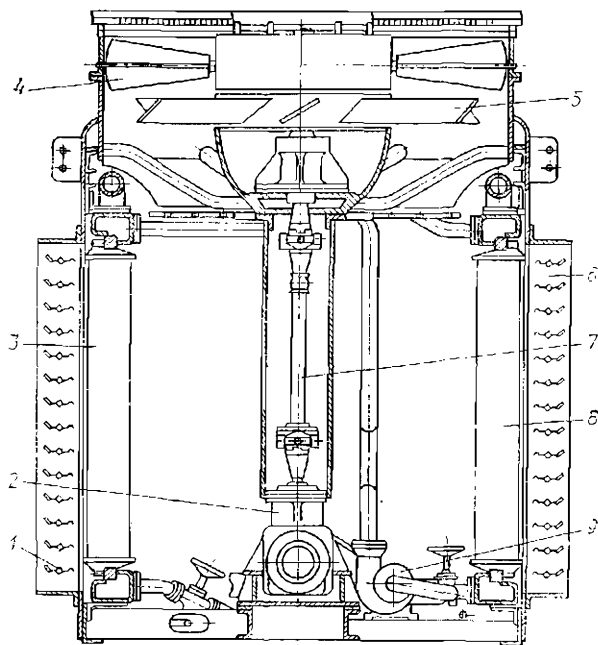


Рис. 63. Холодильник тепловоза.

который в процессе сжатия нагревается. Отведенное водой тепло в холодное время направляется в кабину машиниста и, кроме того, используется для предварительного подогрева топлива. Эта система (дизель-холодильник) является замкнутой. Жидкость в ней циркулирует под давлением, создаваемым водяным насосом.

*Холодильник* предназначен для отвода тепла от воды и масла с рассеиванием в окружающую среду.

Обычно такие устройства размещаются в передней части каюта тепловоза и образуют холодильную камеру (рис. 63). В боковых ее стенках имеются проемы, а вдоль них вертикально установлены охлаждающие секции 3 и 8, снаружи которых расположены жалюзи 1 и 6. Открытие и закрытие их створок может производиться вручную с пульта управления или автоматически. Внутри камеры есть вентилятор 5, действующий от главного вала дизеля через редуктор 2 и карданный вал 7. Производительность вентилятора регулируют жалюзи 4. Центробежный водяной насос 9 обеспечивает работу контура охлаждения наддувочного воздуха.

На тепловозах с гидропередачей в охлаждающей камере размещены также водомасляные теплообменники для охлаждения масла.

### **§ 37. Типы и характеристики дизелей тепловозов протранспорта**

Дизели различаются по типам и маркам. Тип определяется особенностями конструктивного исполнения двигателя, размерами цилиндров, быстроходностью, примененными материалами и способами упрочнения деталей.

Дизелям одного типа присваиваются различные марки (заводские обозначения), что позволяет учесть их характеристики по мощности, габаритам, массе и т. д.

Кроме этого, для единого обозначения двигателей тех или иных марок государственным стандартом предусмотрен следующий шифр: первые цифры — число цилиндров; буква Д — двухтактный, Ч — четырехтактный; буква Н — с наддувом; цифры в числителе — диаметр цилиндра (внутренний), в знаменателе — ход поршня (см). Например, дизель марки 3А-6Д49 обозначается как 8ЧН26/26, т. е. он восьмицилиндровый, четырехтактный, с наддувом, диаметр цилиндра и ход поршня по 26 см (табл. 7).

В последние 10—15 лет широкое распространение получили дизели типа Д49 — четырехтактные, с V-образным расположением цилиндров, газотурбинным наддувом и непосредственным впрыском топлива. Они отличаются экономным расходом горючего и высокими эксплуатационными качествами. Выпускаются четыре марки данных двигателей — мощностью 885, 1105, 2210 и 2945 кВт. Одна из них — 3А-6Д49 присвоена дизелю, конструкция которого рассмотрена в предыдущем параграфе. Такой двигатель устанавливается на тепловозы с гидро- и электропередачами (ТГМ6, ТЭМ5). Другие марки дизелей этого типа с увеличенным числом

Таблица 7. Основные характеристики дизелей

Параметры	Тип			
	Д49		В2 (Д6)	
Заводская марка	ЗА-6Д49	У1Д6	У1Д6-250ТК	1Д12—400
Обозначение	8ЧН26/26	6ЧН15/18	6ЧН15/18	12Ч15/18
Номинальная мощность, кВт	885	110	170	295
Частота вращения коленчатого вала, мин <sup>-1</sup>				
— номинальная	1000	1500	1500	1600
— минимально устойчивая	350	500	500	500
Число и расположение цилиндров *	8V	6P	6P	12V
Удельный расход, г/кВт·ч:				
— топлива	204	239	224	228
— масла	4	12	12	12
Масса дизеля, кг	8800	1300	1450	1750
Габаритные размеры, мм:				
— длина	3360	1975	1820	1775
— ширина	1600	887	1040	1052
— высота	2265	1135	1145	1043
На каких тепловозах устанавливаются	ТГМ6, ТЭМ5	ТГК	ТГК2, ТУ4	ТГМ1, ТУ5З, ТГМ21

\* V-образные дизели. P — однорядные (рядные).

цилиндров (до 16) используются на мощных магистральных тепловозах, как грузовых (ТЭ115, 2ТЭ116), так и пассажирских (ТЭП70).

Большое распространение на промышленном транспорте получили также тепловозы с гидротрансмиссией и дизелями типа В2 (четырёхтактными, с непосредственным впрыском топлива), выпускаемыми в двух модификациях: Д6 — шестицилиндровые однорядные и Д12 — двенадцатицилиндровые V-образные. Эти двигатели (мощностью до 370 кВт) отличаются быстроходностью, малыми габаритами и массой. Их основные конструктивные особенности — общая на шесть цилиндров головка, топливный насос высокого давления блочного типа, привод клапанов без промежуточных деталей: кулачковые валы непосредственно воздействуют на тарелки клапанов, обеспечивая их закрытие или открытие. Гильзы цилиндров, шатуны и коленчатые валы изготовлены из стали; поршни же, головки блоков, а у части дизелей и сами блоки цилиндров — алюминиевые (снижается масса).

Дизели М50 по своим характеристикам и конструкции близки к типу Д12, но за счет увеличения диаметра цилиндра и хода поршня их мощность повышена в 1,5 раза. Применяемый на тепловозе ТГМЗ двигатель марки М753Б имеет блок из шести цилиндров

# тепловозов промышленного транспорта

дизели					
и Д12)	М50	211Д1	Д50		Д100
1Д12Н-500	М753Б	211Д1	2Д50М	ПД1М	2Д100
12ЧН15/18	12ЧН18/20	6ЧН21/21	6ЧН31, 8/33	6ЧН31, 8/33	10Д20, 7/2×25,4
370	550	550	735	885	1470
1500	1400	1400	740	750	850
500	500	600	300	300	400
12V	12V	6P	6P	6P	10P
224	245	217	224	224	231
8	8	3,5	5,5	5,5	5,5
1665	1650	4500	17000	17000	19000
1808	2270	2640	4095	4110	6115
1052	1210	1025	1475	1475	1440
1075	1200	1850	2479	2520	3240
ТГМ23	ТГМ3	ТГМ4	ТЭМ1	ТЭМ2	ТЭ3

и головку, которые объединены в один узел — моноблок. Два таких моноблока устанавливаются на алюминиевый картер с углом развала 60°. В связи с этим изменены некоторые детали. Втулки цилиндров, например, запрессовываются в гнезда блока снизу (со стороны картера), а охлаждающая вода протекает по спиральным канавкам на наружной поверхности данных втулок.

Дизель 211Д1 — четырехтактный шестицилиндровый, однопорядный, с газотурбинным наддувом — при той же мощности и частоте вращения коленчатого вала, что и у двигателя М753Б, отличается повышенной надежностью, хотя имеет в 2,7 раза большую массу. Это объясняется преимущественным применением чугуновых и стальных деталей (кроме алюминиевых поршней), а также рядным исполнением.

На тепловозах с электрической передачей установлены дизели средней быстроходности типа Д50 (четыrehтактные, шестицилиндровые, однопорядные). Частота вращения их коленчатого вала 740—750 мин<sup>-1</sup>, что на 30—50% меньше, чем у ранее рассмотренных двигателей, вследствие чего снижен износ трущихся деталей. Но масса оказывается высокой: у дизеля ПД1М она в два раза больше, чем у марки ЗА-6Д49 (при одинаковой мощности).

Дизели типа Д100 — двухтактные, десятицилиндровые, однорядные, с прямоточно-щелсвой продувкой — имеют в каждом цилиндре по два встречно движущихся поршня, соединенных шатунами с соответствующими коленчатыми валами. Верхние окна во втулках цилиндров служат для их продувки (предварительно сжатым и охлажденным воздухом), а нижние — для выпуска отработанных газов. Топливо впрыскивается в среднюю часть каждого цилиндра двумя форсунками.

Дизели 2Д100 устанавливались на магистральных тепловозах ТЭЗ, часть которых используется на промышленном транспорте.

В настоящее время проводится работа по созданию унифицированного ряда дизелей с диапазоном мощности 735—4415 кВт (четырехтактных, с V-образным расположением цилиндров). Предполагается, что они будут высокоэкономичными и надежными в эксплуатации. Прототипами таких двигателей являются дизели типов Д49, Д56 и Д70, переход на которые приведет к экономии топлива до 10%, а также позволит снизить затраты на производство ремонтов.

## Контрольные вопросы

1. Почему подаваемое в цилиндры дизеля топливо самовоспламеняется?
2. Для чего предусматривают наддув воздуха?
3. По каким признакам классифицируют дизели?
4. Как протекает рабочий цикл четырехтактного дизеля и за сколько оборотов коленчатого вала он совершается? В чем отличие цикла двухтактного двигателя?
5. Что такое эффективная мощность дизеля?
6. Из каких основных частей состоит дизель 3А-6Д49?
7. Как устроен блок дизеля? Каким образом устанавливаются цилиндры, втулки и коленчатый вал?
8. Каковы требования к шатунно-поршневой группе и как они удовлетворяются?
9. Как работает газораспределительный механизм?
10. Каков принцип изменения подачи топлива в цилиндры?
11. Каково назначение всережимного регулятора и как он работает при возрастании нагрузки на дизель?
12. Назовите вспомогательные системы дизеля и их функции.
13. Какие размеры диаметра цилиндра и ход поршня дизеля, имеющего обозначение 6ЧН31,8/33?
14. Какие типы дизелей применяют на тепловозах промтранспорта?

## Глава 11. ПЕРЕДАЧИ ТЕПЛОВОЗОВ

### § 38. Назначение тепловозных передач, их классификация и технико-экономические характеристики

Чтобы тепловоз имел необходимую для тяговой работы характеристику, между дизелем и колесными парами ставится промежуточное устройство — передача. При этом повышается вес и стоимость локомотива, но значительно улучшаются его тяговые качества. Наличие передачи обеспечивает номинальную, наиболее эконо-

мичную по затратам топлива частоту вращения вала, а также полное использование мощности дизеля при изменении скорости движения в широких пределах.

Применяются электрическая, гидравлическая и механическая передачи. Широкое распространение получила первая из них, в особенности на магистральных тепловозах значительных мощностей. Принцип ее работы заключается в том, что вращающийся вал дизеля связывается с якорем главного электрогенератора, который и преобразует механическую энергию в электрическую, подводимую затем к тяговым двигателям, связанным зубчатой передачей с движущимися колесными парами.

Электрическая передача характеризуется следующими достоинствами:

- высоким коэффициентом полезного действия (0,84—0,86);
- полным использованием мощности дизеля в широком диапазоне скоростей движения тепловоза;
- возможностью автоматизации управления и защиты оборудования.

К недостаткам следует отнести высокую стоимость; большой вес электрического оборудования, значительный расход цветного металла (меди).

На тепловозах применяются электрические передачи с использованием тока:

- 1) постоянного (на нем работают главный генератор и тяговые двигатели);
- 2) переменного-постоянного (синхронный генератор вырабатывает переменный ток, а двигатели через выпрямитель получают постоянный);
- 3) переменного (в этом случае должны применяться преобразователи частоты тока генератора с автоматическим управлением).

Вторая из названных передач начала широко внедряться в последние годы; она позволяет снять ограничения по мощности и повысить надежность главного генератора, а также уменьшить его вес и затраты цветного металла.

Гидропередача, когда вращающий момент дизеля передается колесным парам при помощи гидравлических трансформаторов и муфт, используется в основном на промышленных и маневровых тепловозах средней и малой мощности. Она отличается следующими положительными качествами:

- компактностью и небольшой удельной массой;
- незначительным расходом меди;
- отсутствием ограничений (кроме как по сцеплению) при трогании тепловоза с поездом;
- лучшим использованием сцепного веса при применении группового привода.

- надежностью в работе и простотой обслуживания.

Недостатками гидравлической передачи в сравнении с электрической являются меньший коэффициент полезного действия (на 4—6%) и связанные с этим большие затраты топлива, а также

трудности при «переброске» значительной мощности к осевым редукторам.

Механическая передача, выполняемая в виде муфты сцепления и коробки скоростей, предназначена для небольших мощностей (отдельные типы узкоколейных тепло- и моторовозов). Ее достоинства — простота конструкции, малый вес, низкая стоимость, высокий коэффициент полезного действия. Однако она не обеспечивает полного использования мощности двигателя, так как зависимость между частотами вращения коленчатого вала и колесных пар изменяется ступенчато, а в момент переключения передач сила тяги сбрасывается до нуля.

### § 39. Электрическая передача

Рассмотрим передачу постоянного тока, применяющуюся на большинстве серий тепловозов промтранспорта. В ее состав входят: главный генератор постоянного тока с независимым возбуждением; тяговые электродвигатели последовательного возбуждения, соединенные с колесными парами; возбудитель; вспомогательный генератор; электроаппаратура для управления передачей и защиты от аварийных режимов.

На тепловозах обычно производится электрический пуск дизеля, причем главный генератор работает здесь как двигатель, получая питание от аккумуляторной батареи.

Для использования полной мощности дизеля при разных режимах работы тяговых двигателей необходимо, чтобы потребляемая ими мощность  $N_d$  оставалась постоянной, т. е. при увеличении тока  $I$  этих двигателей следует уменьшить напряжение  $U_r$  на зажимах главного генератора (и наоборот). Тогда произведение  $N_d = IU_r$  будет неизменным.

Иначе говоря, надо, чтобы внешняя характеристика главного генератора, представляющая собой зависимость напряжения на его зажимах от тока  $I_r [U_r = f(I_r)]$  имела в рабочей части вид гиперболы. При этом мощность  $N_d$  остается постоянной, что обеспечивается автоматическим регулированием параметра  $U_r$  в обратной зависимости от величины  $I$ . Изменение напряжения достигается соответствующим повышением или снижением тока, поступающего на полюсные обмотки генератора от возбудителя, размещенного в двухмашинном агрегате.

Главные (тяговые) генераторы преобразуют механическую энергию дизеля в электрическую. Их типы, такие как ГП-300А, МПТ-84/39 и ГП-319, применяемые соответственно на тепловозах ТЭМ2, ТЭМ1 и ТЭМ5, конструктивно мало отличаются между собой.

Генератор ГП-300А (номинальная мощность 780 кВт) — восьмиполусная машина постоянного тока независимого возбуждения с самовентиляцией (рис. 64). Его станина 3 (цилиндрической формы) одним своим торцом, имеющим центрирующий бурт, присоединена к фланцу рамы дизеля. С другой стороны к ней крепится

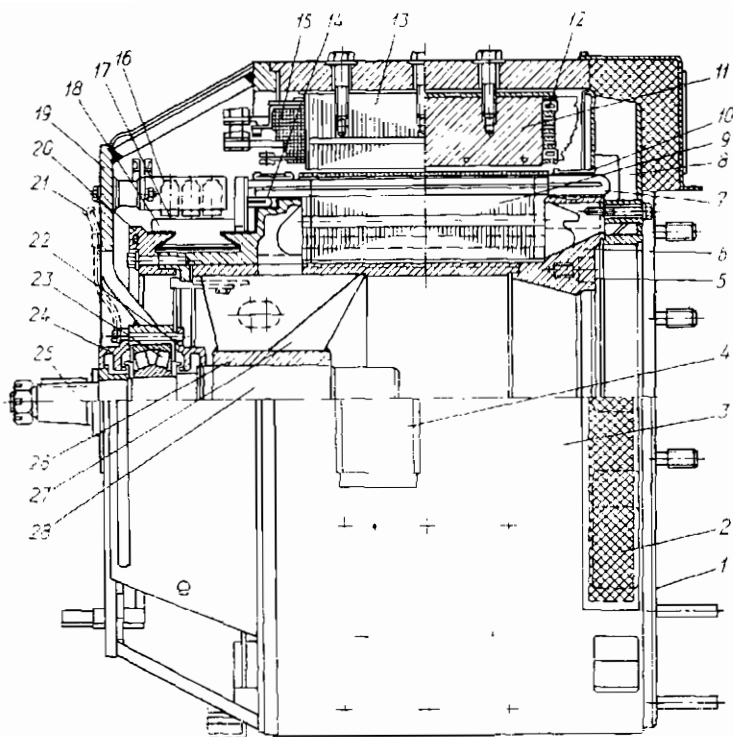


Рис. 64. Главный генератор ГГ-300А:

1 — центрирующий бурт; 2 — сетка; 3 — станина; 4 — опорные лапы; 5 — отверстия; 6 — фланец; 7 — обмотка якоря; 8 — вентилятор; 9 — сердечник якоря; 10 — бандажи; 11, 12 — сердечник и обмотка дополнительного полюса; 13 — сердечник главного полюса; 14 — уравнительные соединения; 15 — обмотка главного полюса; 16 — щеткодержатель; 17 — щетки; 18 — коллектор; 19 — подшипниковый щит; 20 — нажимная шайба; 21 — трубка для смазки; 22, 24 — заднее и переднее лабиринтные уплотнения; 23 — роликовый подшипник; 25 — вал; 26 — ступица корпуса якоря; 27 — ребра; 28 — барабан корпуса якоря.

подшипниковый щит 19. Для опоры генератора на раму тепловоза к станине приварены лапы 4. На внутренней поверхности статора размещены сердечники главных 13 и дополнительных 11 полюсов, которые (соответственно) создают основной магнитный поток машины и улучшают коммутацию генератора за счет компенсации потока реакции якоря. В катушке 12 главных полюсов две обмотки: независимого возбуждения и пусковая.

Якорь генератора состоит из корпуса 28, сердечника 9, коллектора 18, петлевой обмотки 7 и вала 25. Фланец 6, имеющийся на корпусе якоря, прикреплен к фланцу коленчатого вала, конец которого со стороны коллектора опирается на роликовый подшипник 23. Сердечник якоря, как и сердечник главных полюсов, набран из лакированных листов электротехнической стали, а коллектор — из медных пластин клиновидного сечения, изолированных друг от друга micaнитовыми прокладками. Вентилятор 8 служит для охлаждения якоря и полюсов машины. Щеткодержатель 16 со щетка-

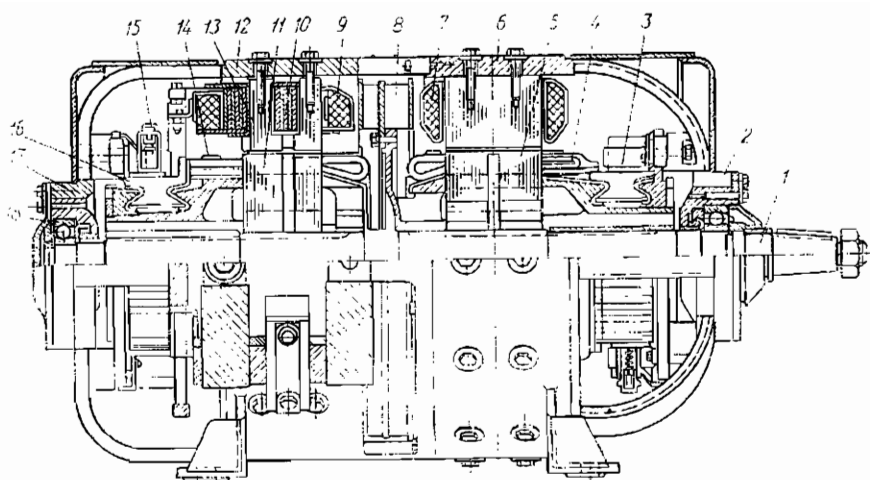


Рис. 65. Двухмашинный агрегат.

ми 17 прикреплены против главных полюсов на подшипниковом щите при помощи изоляционных держателей и подвесок.

Двухмашинный агрегат включает возбудитель, предназначенный для питания независимой обмотки главных полюсов, и вспомогательный генератор, вырабатывающий ток для полюсных обмоток возбудителя, цепей управления, освещения и других нужд тепловоза, а также заряжающий аккумуляторные батареи.

На тепловозах ТЭМ1 и ТЭМ2 такой агрегат (рис. 65) состоит из возбудителя МВТ-25/9 (на рисунке левая часть) и вспомогательного генератора МВГ-25/11 (правая часть). Их станины — соответственно 12 и 6 — соединены болтами в общий корпус, а якоря 11 и 5 с обмотками 14 и 4 смонтированы на общем валу 1, который получает вращение от вала тягового генератора посредством клиноременной передачи. Между якорями размещено двухстороннее вентиляторное колесо 8. Съем тока с коллекторов 16 и 3 осуществляется щетками 15. По торцам агрегата установлены канцюны 17 и 2, где размещаются шариковые подшипники 18.

Возбудитель является машиной постоянного тока с продольно расщепленными главными полюсами. Часть сердечника 13 меньшего сечения (ненасыщенная) имеет дифференциальную обмотку 10 (через нее проходит ток главного генератора), а обе его части (насыщенная и ненасыщенная) охватываются обмоткой параллельного возбуждения 9, питающейся от вспомогательного генератора.

Обмотки 9 и 10 наводят магнитные потоки возбудителя; первая — основной, постоянный по величине, а вторая — дополнительный, изменяющийся пропорционально току главного генератора. Оба они взаимно вычитаются, так как направлены встречно. В итоге получаем суммарный поток, увеличивающийся при понижении указанного тока (и наоборот).

Соответственно изменяется ток на выходе возбудителя, чем и обеспечивается гиперболическая характеристика тягового генератора тепловоза.

Магнитная система *вспомогательного генератора* постоянного тока параллельного возбуждения состоит из станины 6, шести главных полюсов 7 и шести добавочных. Обмотки первых из них запитываются от автоматического регулятора, вследствие чего напряжение на клеммах вспомогательного генератора стабильное  $75 \pm 3$  В.

Тяговые двигатели промышленных тепловозов, как и электровозов, являются машинами постоянного тока последовательного возбуждения с принудительной вентиляцией и моторно-осевой подвеской. Существенное их отличие — более низкое напряжение на коллекторе: 125 В (тепловоз ТЭМ1), 215 В (ТЭМ2), 275 В (ТЭЗ)\*. В связи с этим они рассчитаны на работу при длительных токах 600—800 А, что примерно в три раза выше таких же токов электровозных двигателей.

Тяговые машины типа ЭДТ-200Б (мощностью 87 кВт), ЭД-107 (112 кВт) и ЭДТ-200Б (206 кВт) применяются соответственно на тепловозах ТЭМ1, ТЭМ2 и ТЭЗ. Максимально допустимая частота вращения якоря двигателя составляет 2200 мин<sup>-1</sup>.

Тяговый двигатель ЭД-107, конструктивно сходный с показанным на рис. 18, состоит из стального остова, к которому внутри крепятся четыре главных и четыре дополнительных полюса. Сердечники первых из них набраны из листовой электротехнической стали, а катушки выполнены из медной шины размером 8×25 мм. Дополнительные полюса компенсируют реакцию якоря и улучшают коммутацию двигателя. Их сердечники изготовлены из литой стали, а катушки — из полосовой меди (6,5×28 мм).

Вал якоря, установленный в подшипниковых щитах, со стороны коллектора закрыт глухой крышкой, а со стороны обмоток имеет выходящую наружу остова шейку для соединения с шестерней привода оси. Сердечник якоря — из листов электротехнической стали, в которых сделаны отверстия для вентиляционного воздуха. В пазы якоря уложены катушки обмотки, запаянные на пластины коллектора, состоящего из 216 медных пластин, изолированных друг от друга миканитовыми прокладками. Щетки расположены в четырех латунных щеткодержателях.

Вентиляция тягового двигателя осуществляется путем продувки через имеющиеся каналы и зазоры между его частями охлаждающего воздуха от вентиляторов, размещенных в кузове тепловоза и приводящихся во вращение от вала дизеля.

Изменение скорости движения тепловоза достигается регулированием частоты вращения тяговых электродвигателей, которая определяется по формуле (2). Но в данном случае включение резисторов в цепи якорей не производится. Вместо этого используется возможность увеличивать или уменьшать в широких пределах

\* Номинальное напряжение электровозных тяговых двигателей 1500 В.

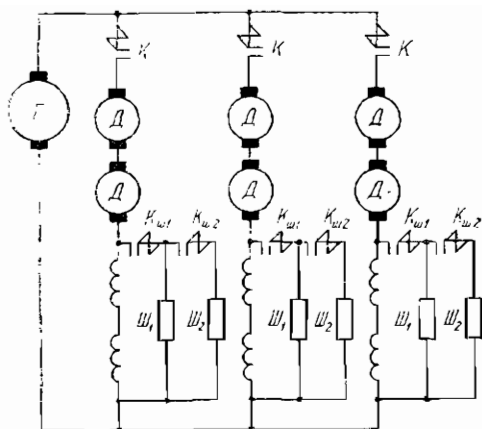


Рис. 66. Схема силовой цепи с последовательно-параллельным подключением тяговых электродвигателей и двухступенчатым ослаблением магнитного поля.

напряжение питания электромашин, что обеспечивается гиперболической внешней характеристикой главного генератора. Кроме того, на тепловозах ряда серий применяется переключение двигателей из последовательных в параллельные группы, как это принято на электровозах.

Отказ от упомянутых резисторов позволяет значительно упростить схему силовых цепей, повысить их надежность и ликвидировать потери мощности на нагрев резисторов.

Увеличение частоты вращения тяговых электромашин достигается также за счет ослабления их магнитного поля. К примеру, на тепловозах ТЭМ2 обмотки возбуждения двигателей Д (рис. 66) могут шунтироваться резисторами Ш<sub>1</sub> и Ш<sub>2</sub>. Если контакты К замкнуты, а К<sub>ш</sub> — разомкнуты, то соединенные в последовательно-параллельные группы двигатели питаются от генератора Г и работают в естественном режиме. Включением контактов К<sub>ш1</sub> и К<sub>ш2</sub> обеспечивается первая и вторая ступени ослабления магнитного поля. Соответственно повышется скорость движения тепловоза.

Для реверсирования тяговых электродвигателей обычно меняют направление тока в обмотках возбуждения; при этом не требуются переключения в более мощных цепях якорей.

## § 40. Гидравлическая передача тепловоза

Принцип работы данной передачи состоит в том, что при помощи специальных гидроаппаратов энергия вращения вала дизеля вначале сообщается рабочей жидкости, а энергия последней переходит затем к независимой от дизеля механической системе, передающей вращающий момент на колесные пары.

Поскольку используется кинетическая энергия жидкости, циркулирующей с высокой скоростью в замкнутом объеме, рассматриваемую передачу называют *гидродинамической* (в отличие от гидростатической, применяемой для привода грузоподъемных устройств и др.).

Различают аппараты, с помощью которых мощность передается без изменения вращающего момента, — *гидромуфты* и с изменением его — *гидротрансформаторы*.

Передачи бывают *гидравлические* (применяются на большинст-

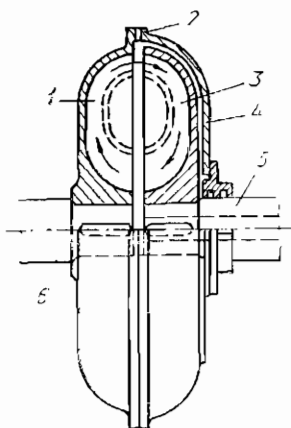


Рис. 67. Гидромуфта.

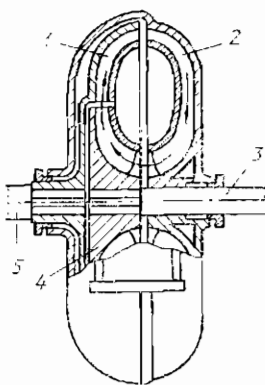


Рис. 68. Гидротрансформатор.

зе тепловозов промтранспорта) и *гидромеханические*. В первом случае постоянно работает один из гидроаппаратов, во втором же указанные аппараты на некоторых режимах выключены, а мощность дизеля передается на колесные пары механическими устройствами.

Передачи делятся на *одноциркуляционные*, имеющие только один гидроаппарат и многоступенчатую механическую коробку передач, и *многоциркуляционные*, состоящие из двух или трех таких аппаратов, каждый из которых постоянно соединен с одной из ступеней названной коробки.

**Гидромуфта** (рис. 67) включает насосное 1 и турбинное 3 колеса, жестко укрепленные соответственно на ведущем 6 и ведомом 5 валах, а также наружный кожух (колокол) 4, который в данной конструкции связан с колесом 1 и вращается вместе с ним. Оба колеса снабжены радиальными лопатками.

Частицы турбинного масла, заполняющего гидромуфту, при работе насосного колеса 1 перемещаются от центра к его краям, увеличивая свою скорость. При движении между лопатками колеса 3 к центру скорость этих частиц уменьшается, их кинетическая энергия передается указанному колесу, и оно вращается. Чтобы не допустить перегрева масла, часть его через отверстие 2 поступает в охлаждающее устройство и направляется затем обратно.

В гидромуфте вращающий момент от ведущего вала к ведомому передается без изменения, так как энергия через жидкость сообщается непосредственно от насосного колеса к турбинному. Коэффициент полезного действия гидромуфты

$$\eta = n_t/n_k = i = 1 - s, \quad (17)$$

где  $n_t$ ,  $n_k$  — частота вращения турбинного и насосного колес,  $\text{мин}^{-1}$ ;

$i$  — передаточное число;  
 $s = (n_k - n_T) / n_k$  — скольжение турбинного колеса.

Величина  $\eta$  при  $n_k = \text{const}$  возрастает с повышением числа оборотов турбинного колеса. Обычно гидромуфты рассчитывают на работу со скольжением 2—3%, при этом  $\eta = 0,97—0,98$ .

Гидротрансформатор (рис. 68) помимо насосного 4 и турбинного 1 колес, укрепленных соответственно на ведущем 3 и ведомом 5 валах, имеет неподвижный направляющий аппарат 2, который состоит из специально спрофилированных лопаток и изменяет направление потока, обеспечивая постоянный угол входа жидкости на лопатки колеса 4. Наличие такого аппарата позволяет в широких пределах изменять вращающий момент ведомого вала.

Обозначим вращающиеся моменты турбинного и насосного колес через  $M_T$  и  $M_H$ . Отношение этих моментов называют коэффициентом трансформации

$$k = M_T / M_H, \quad (18)$$

который достигает наибольшего значения при  $n_T = 0$ , т. е. при трогании с места, когда и к.п.д. гидротрансформатора  $\eta$  также близок к нулю.

По мере разгона турбинного колеса коэффициент  $k$  уменьшается, а величина  $\eta$  возрастает. Максимальное ее значение ( $\eta = 0,8—0,9$ ) отмечается при номинальной (расчетной) частоте вращения названного колеса. После превышения этой частоты к.п.д. круто снижается, и работа гидротрансформатора становится неэффективной как с точки зрения потерь энергии, так и по перегреву масла.

Чтобы обеспечить приемлемую тяговую характеристику и высокий коэффициент полезного действия тепловоза на всех режи-

мах работы, устанавливают несколько гидроаппаратов. Передача вращающего момента и реверсирование раздаточного вала осуществляется механическими устройствами.

Наибольшее распространение на тепловозах получили унифицированные гидравлические передачи УГП 750—1200 мощностью 550—885 кВт. На кинематической схеме (рис. 69) сверху вниз показаны пять валов: приводной 1 (связан с валом дизеля), главный (с расположенными на нем гидроаппаратами), вторичный 8 (с зубчатыми колесами и механическими муфтами), раз-

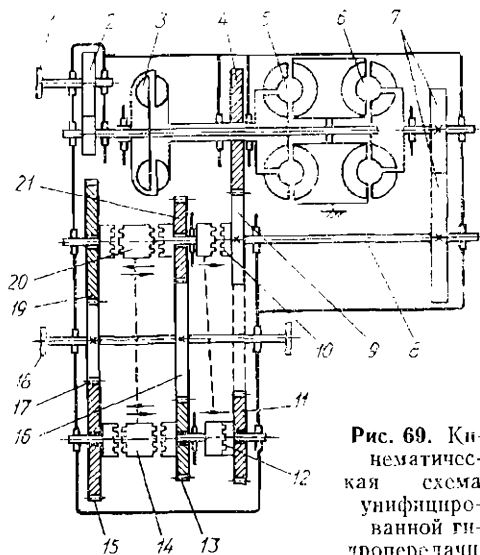


Рис. 69. Кинематическая схема унифицированной гидропередачи.

даточный 18 (от него вращающий момент передается на колесные пары) и реверсивный (для изменения направления оборотов раздаточного вала).

Через зубчатую передачу 2 вращающий момент от приводного вала сообщается главному. Шестерни, не заштрихованные на рисунке, посажены на валах неподвижно, а заштрихованные — свободно. Передача 2 повышает частоту вращения для лучшей работы гидроаппаратов.

Главный вал постоянно соединен с насосными колесами гидромуфты 3, а также гидротрансформаторов 5 и 6. При работе дизеля вхолостую и стоянке тепловоза все гидравлические аппараты свободны от рабочей жидкости; их турбинные колеса не вращаются.

Когда машинист включает кнопку управления передачей и устанавливает рукоятку контроллера на первую позицию, благодаря специальному автоматическому устройству наполняется маслом трансформатор 6, который называют пусковым. От его турбинного колеса через понижающую зубчатую передачу 7 приводится во вращение вторичный вал, и тепловоз начинает двигаться. После разгона до определенной скорости то же устройство опорожняет пусковой и заполняет маршевый гидротрансформатор 5, рассчитанный на средние скорости движения. Сообщение вращающего момента вторичному валу осуществляется повышающей зубчатой передачей из шестерен 4 и 9. Она же используется при высокой скорости после того, как автоматическое устройство освободит от рабочей жидкости трансформатор 5 и наполнит ею гидромуфту 3.

Все переключения гидравлических аппаратов выполняются без вмешательства машиниста в зависимости от частоты вращения дизеля и скорости движения тепловоза.

Шестерня 9 имеет постоянное зацепление с шестерней 11 вала реверса (на схеме это обозначено пунктиром). Взаимосвязанные муфты 10 и 12 могут включаться только раздельно: первая из них передает вращение на левую часть вторичного вала (ход вперед), а вторая включает вал реверса (ход назад).

Предусмотрены также двухсторонние муфты 20 и 14, изменяющие режимы работы тепловоза. Если они переключены в правые положения, то установлен маневровый режим. Тогда передача вращающего момента на раздаточный вал осуществляется шестернями 21 и 16 (при ходе вперед), а также 13 и 16 (при движении назад).

В поездном режиме муфты 20 и 14 поставлены влево; ход вперед и назад обеспечивается соответственно шестернями 19 и 17, 15 и 17. Очевидно, что скорость движения при этом будет выше, зато в маневровом режиме реализуются большие тяговые силы.

На тепловозах ТГМ1, ТГМ21 и ТГМ23 используется гидравлическая передача УГП 350—500, состоящая из одного трансформатора, двух муфт и механической передачи.

На тепловозах ТГМ3 применяется так называемый комплексный гидротрансформатор, который в зависимости от частоты вращения вала дизеля и скорости движения меняет свои функции —

в процессе разгона работает как трансформатор, а затем — как муфта.

Сообщение вращающего момента от гидropередачи на колесные пары осуществляется либо с помощью карданно-редукторного привода, либо дышлового механизма.

## Контрольные вопросы

1. Какие достоинства и недостатки электрической, гидравлической и механической передач тепловоза?
2. Назовите электромашины, используемые в электрической передаче, и их основные функции?
3. Какие переключения в цепях тяговых двигателей тепловоза применяют для изменения частоты вращения?
4. Как устроены главный генератор, двухмашинный агрегат и тяговые двигатели?
5. В чем заключается принцип работы гидромуфт и гидротрансформаторов?
6. Как устроена унифицированная гидравлическая передача тепловоза?

## Глава 12. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ ТЕПЛОВОЗА

### § 41. Аппараты управления

На тепловозах с электрической передачей применяют аппараты управления — контроллеры, контакторы, реверсоры и реле, сходные по принципу действия с аналогичными устройствами электровоза и питающиеся от источников низкого напряжения — аккумуляторной батареи или вспомогательного генератора.

*Контроллер машиниста* тепловоза по сравнению с электровозным характеризуется значительно меньшим количеством позиций.

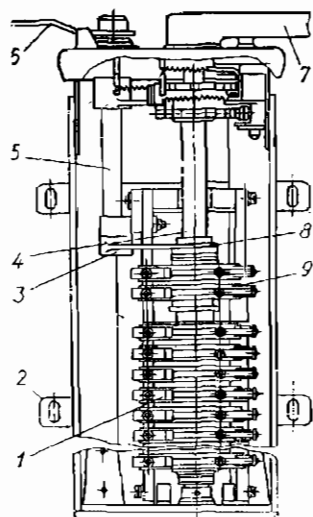


Рис. 70. Контроллер машиниста тепловоза ТЭМ1.

В качестве примера рассмотрим один из них — КВ-0800 (рис. 70), установленный на локомотиве ТЭМ1. В корпусе 3 размещен кулачковый вал 4, на верхнем конце которого имеется главная рукоятка 7, а на нижнем — барабан 1, состоящий из набора пластмассовых шайб с вырезами, расположенными в определенной последовательности. По наружной поверхности каждой шайбы перекачивается ролик, при попадании которого в один из ее вырезов замыкаются необходимые контакты и включаются цепи управления.

Рукоятка 7 имеет восемь позиций движения и одну — «нулевую», соответствующую работе дизеля на холостом ходу. Реверсивный барабан 9, который свободно надет на главный кулачковый вал 4, поворачивается относительно его рычагом 3 и тягой 8, связанными с ревер-

сивным валом 5, поворот которого осуществляется рукояткой 6, имеющей положения «Вперед», «Назад» и «Нейтраль». При вращении барабана 9 контакты переключаются и срабатывает исполнительный аппарат — реверсор, который соединяет должным образом цепи тяговых двигателей.

В конструкции контроллера предусмотрена механическая блокировка рукояток: поворот реверсивной (6) допускается только в «нулевой» позиции главной (7). Этим исключается переключение контактов реверсора под током. Если же рукоятка 6 поставлена в нейтральное положение, то главная заблокирована на нулевом (она не может быть повернутой).

*Электропневматические контакторы*, используемые для включения питания тяговых двигателей от главного генератора, по своему устройству сходны с аналогичными аппаратами электровоза (см. гл 4, §14).

На тепловозах устанавливают контакторы типа ПК-753Б, которые имеют: пневматические вентиль для пуска сжатого воздуха и приводной механизм; рабочие и блокировочные контакты; дугогасительную камеру.

*Электромагнитные контакторы* функционируют в цепях пуска дизеля, ослабления поля тяговых двигателей, возбуждения главного генератора и зарядки аккумуляторной батареи. Часто применяется контактор КПВ-504 с дугогасительной камерой и тяговой катушкой, под воздействием магнитного поля которой осуществляется замыкание. Усилия прижатия контактов в данных аппаратах меньше, чем в электропневматических.

*Реверсоры* обеспечивают переключения цепей питания обмоток возбуждения тяговых двигателей, изменяя протекание по ним тока и, следовательно, — направление вращения их якорей \*. Такой способ реверсирования выбран потому, что по катушкам якорей двигателей тепловозов протекают значительные по величине токи (в несколько раз выше, чем у электровозов), в связи с чем в цепях якорей стремятся ставить как можно меньше контактных элементов.

Реверсор представляет собой групповой контактор кулачкового или барабанного типа с общим валом, вращаемым с помощью пневматического механизма, куда (после изменения позиции соответствующей рукоятки контроллера машиниста) поступает сжатый воздух, что приводит к повороту вала на нужный угол и к одновременному переключению группы контактов.

*Реле управления*, в основном электромагнитного типа, применяются для переключений контактов в низковольтных цепях и устройствах автоматики.

Аппаратура автоматического управления гидropередачей тепловоза состоит из электрической и гидравлической частей. Упрощенная схема первой из них показана на рис. 71. Датчик Д — миниатюрный генератор переменного тока, приводимый во враще-

\* На электровозах при реверсировании изменяется направление тока якоря.

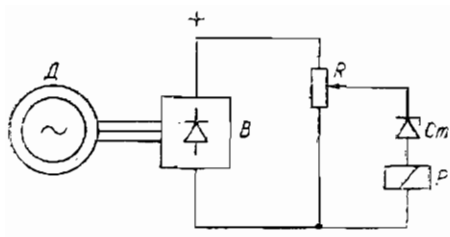


Рис. 71. Упрощенная схема автоматического управления гидроаппаратами.

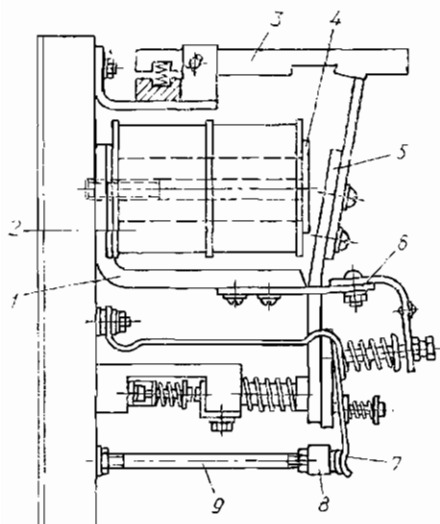


Рис. 72. Реле заземления.

срабатывает и своими контактами включает необходимые автоматические устройства.

ние от турбинного колеса гидратрансформатора. Одна часть полученного на выходе выпрямителя В постоянного тока проходит, как видим, от «плюса» через корректирующий реостат  $R$ , а другая — поступает на стабилитрон  $Ст$  и катушку реле  $P$ .

Стабилитрон — полупроводниковый прибор, который включается против направления тока и до определенного (критического) напряжения в цепи имеет большое электрическое сопротивление, после превышения этого напряжения пробивается и пропускает ток. Указанное сопротивление резко падает. После снятия напряжения запирающий слой стабилитрона восстанавливается. Пробой его может осуществляться многократно.

Сопротивление корректирующего реостата подбирается таким, чтобы при оборотах датчика, соответствующих переключению с одного гидротрансформатора на другой, происходил пробой стабилитрона. В результате реле  $P$

(на рисунке они не показаны)

## § 42. Аппараты защиты

Для предохранения оборудования тепловоза от повреждений вследствие отказов отдельных деталей либо возникновения ненормальных условий работы служат аппараты защиты. К ним относятся реле заземления и боксования, автоматические выключатели и др.

Реле заземления (рис. 72) обеспечивает защиту от токов короткого замыкания, которые могут появиться при пробое изоляции силовой цепи. На стальной скобе 1 посредством винта 4 укреплен катушка 2 с двумя вводами, соединенными по отдельности с общим минусовым проводом и корпусом (массой) тепловоза. Если на последний попадет ток от любого плюсового провода, катушка реле запитается и притянет якорь 5, один из концов кото-

рого отогнет пружинную защелку 3 и уйдет в ее углубление. При повороте относительно планки 6 второй конец якоря с изолированной пластиной нажмет на контакт 7 и отсоединит его от контакта 8, неподвижно укрепленного на стойке 9.

По указанным контактам проходит цепь возбуждения главного генератора. Очевидно, что при их разрыве он практически прекратит вырабатывать ток, поскольку исчезнет поток возбуждения. Прервется и ток в катушке 2, но якорь 5 останется в защелкнутом положении.

После обнаружения и устранения неисправностей реле заземления необходимо восстановить, отведя вручную конец защелки 3 до выхода из нее якоря.

*Реле боксования* на тепловозах с электрической передачей защищает силовые цепи и оборудование от перегрузок, возникающих при боксовании одной или нескольких колесных пар. Если таковых нет, по катушке реле, подключенной к одноименным вводам двух тяговых двигателей, протекает незначительный ток.

При пробуксовке одной колесной пары режим работы соответствующего двигателя изменится и по катушке пойдет ток, достаточный для срабатывания реле, чем вызывается понижение напряжения главного генератора и включение звукового сигнала в кабине тепловоза.

*Автоматические выключатели* осуществляют отсоединение тока в цепях тепловоза, где возникло короткое замыкание. Действие такого выключателя основано на том, что термобиметаллическая пластинка при проходе по ней повышенного тока нагревается и изгибается, освобождая предварительно взведенный пружинный механизм, который быстро размыкает контакты. Возникшее при этом искрение погашается в дугогасительной камере.

### **§ 43. Аккумуляторные батареи**

Данные батареи, помимо питания цепей управления, освещения и сигнализации во время стоянки тепловозов, должны обеспечить также работу всех систем пуска дизеля, главная операция которого — передача вращающего момента на колесчатый вал с целью разгона его до определенной частоты вращения (когда происходит запуск).

Вращающий момент на тепловозе с электрической передачей создается главным генератором, работающим в двигательном режиме. На локомотивах с гидропередачей для этой цели используется специальный электродвигатель — стартер.

Во время пуска, особенно холодного двигателя, может понадобиться (кратковременно) значительная мощность — до 30 кВт, в связи с чем рассматриваемые батареи должны иметь достаточно большую емкость и обладать способностью к интенсивному разряду.

Используются как кислотные, так и щелочные аккумуляторы (см. гл. 4, § 15). Первые из них (типа 32ТН-450) устанавливаются

на тепловозах ТЭМ1, ТЭМ2, ТЭМ5 и ТГМ6А. Такая батарея включает 32 элемента и имеет емкость 450 А·ч при 10-часовом разряде. На тепловозах ТГМ3, ТГМ3А, ТГМ3Б и ТГМ4 работают аккумуляторы 6СТЭН-140 (280 А·ч, разряд — 20 ч) и 6СТЭН-140М (252 А·ч, разряд — 10 ч).

### **Контрольные вопросы**

1. Как устроен контроллер машиниста тепловоза?
2. Какие аппараты применяют для переключения в силовых цепях тепловоза?
3. На каком принципе работает автоматика управления гидроаппаратами?
4. Какие функции выполняют реле заземления и боксования, а также автоматические выключатели?
5. Почему емкость аккумуляторов тепловоза больше, чем электровоза?

## **Глава 13. ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ ТЕПЛОВОЗОВ**

### **§ 44. Тепловозы промышленного транспорта с гидравлической передачей**

Тепловозы с гидropередачей получили широкое распространение на промышленном транспорте. Их мощность находится в пределах 110—885 кВт, число осей — до четырех, осевые нагрузки составляют 120—220 кН (широкая колея). Примененный на этих локомотивах групповой привод колесных пар улучшает сцепление с рельсами, что позволяет успешно работать в условиях менее качественного состояния пути и большей крутизны кривых, чем на магистральном транспорте.

Немаловажное значение имеет и то, что высокие температуры и запыленность воздуха не сказываются существенно на работе гидравлической передачи.

Основные технические характеристики указанных тепловозов приведены в табл. 8. Содержащиеся здесь обозначения расшифровываются следующим образом: Т — тепловоз, Г и Э — с гидравлической или электрической передачей, М — маневровый, К — постройки Калужского машиностроительного завода; дальнейшие цифры и буквы — серия локомотива и ее модификация.

Тепловозы ТГК и ТГК2 — двухосные, с дизелями мощностью соответственно 110 и 170 кВт, гидромеханической передачей и карданным приводом колесных пар. Наибольшая конструкционная скорость в маневровом режиме 30 км/ч, в поездном — 60 км/ч (в таблице это выглядит как числитель и знаменатель). Сравнительно низкие осевые нагрузки позволяют эксплуатировать данные локомотивы на путях с рельсами легких типов.

Тепловозы ТГМ1 начали строиться в 1956 г. По мере накопления опыта эксплуатации конструкция их подвергалась улучшению. Применен более мощный дизель (370 кВт вместо 295 кВт), усовершенствованы приборы управления и другие узлы, в результате че-

Т а б л и ц а 8. Характеристики тепловозов широкой колеи для промышленного транспорта

Параметры	Серия тепловоза								
	ТГК	ТГК 2	ТГМ1	ТГМ 23	ТГМ3	ТГМ4	ТГМ6А	ТЭМ1	ТЭМ2
Счетная масса, т Осевая характеристика Минимальный радиус проходимых кривых, м Нагрузка от оси на рельсы, кН Конструкционная скорость, км/ч Скорость при длительном режиме (магистровом), км/ч Сила тяги при том же режиме, кН Удельная масса тепловоза, кг/кВт Габаритные размеры тепловоза, мм: — длина (по осям автоцепов) — ширина — высота (от головок рельсов) Марка дизеля Мощность, кВт	25 0-2-0	28 0-2-0	45 0-3-0	44 0-3-0	68 2-2	80 2-2	90 2-2	120 3-3	120 3-3
	50	50	60	60	40	40	40	80	80
	123	147	151	143	167	196	221	196	196
	30/60	30/60	30/50	30/60	30/60	27/55	40/80	90	100
	5	5	5	5	2	7	8	9	12
	46	70,6	120	128	191	191	245	196	206
	227	185	163	120	122	145	102	163	136
	8270	8280	9750	8920	12600	12600	14300	16970	16970
	3175	3074	3150	3150	3050	3050	3080	3080	3080
	3247	3478	3940	4180	4600	4600	4300	4900	4650
Передача	У1Д6	У1Д6- 250ТК	1Д12- 400	1Д12- 500	М753Б	211Д1	3А-6Д49	2Д50М	ПД1М
	110	170	295	370	550	550	885	735	885

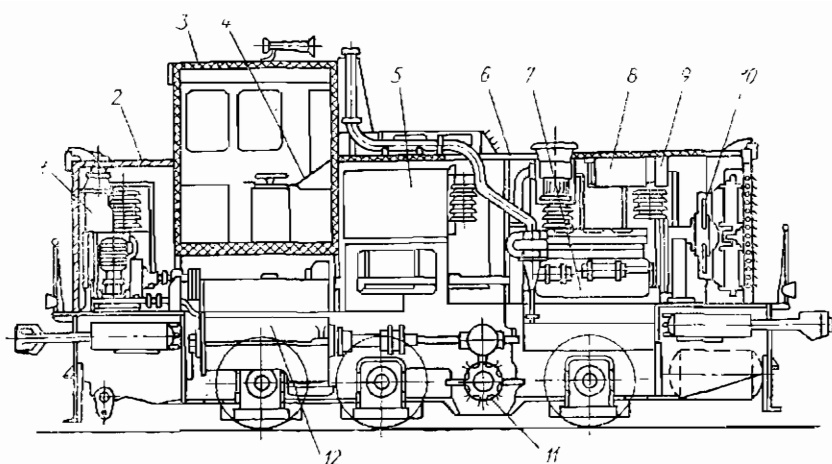


Рис. 73. Тепловоз ТГМ23 (продольный разрез).

то был создан тепловоз ТГМ23. Выпускаются также его модификации — серии ТГМ23Б (мощность 295 кВт), ТГМ25 и ТГМ25Т (экспортное исполнение для эксплуатации в условиях умеренного и тропического климата).

Отличительная особенность перечисленных локомотивов — жесткая рама (бестележного типа), опирающаяся на три колесные пары, которые приводятся во вращение от реверс-редуктора с помощью дышлового механизма.

Схема тепловоза ТГМ23 и расположения его оборудования показана на рис. 73. Ширина кабины 3 составляет 3,1 м, в то время как кузов дизельного помещения 6 — значительно уже (1,9 м), что обеспечивает хороший обзор и доступ к внутренним машинам и механизмам. В передней части локомотива находится холодильник с вентилятором 10, приводимым во вращение от дизеля 7. Первичный вал унифицированной гидropередачи 12, размещенной под кабиной, связан с двигателем через упругие (карданно-пластинчатые) муфты. От гидropередачи получают обороты детали реверс-редуктора, который обеспечивает переключение режимов (маневрового и поездного), а также изменение направления движения. Наконец, от отбойного вала 11 вращающий момент через дышловый механизм, подобный паровозному, сообщается колесным парам.

Гидropередача, кроме того, имеет валы для приведения во вращение компрессора, размещенного в задней секции 2 кузова. Здесь же установлен котел 1, предназначенный для подогрева в зимнее время топлива, поступающего в дизель, а также отопления кабины.

Локомотив снабжен емкостями 5, 8 и 9 соответственно для топлива, масла и воды. Управление осуществляется с пульта машиниста 4.

Тепловозы серий ТГМ3, ТГМ3А, ТГМ3Б, ТГМ4, ТГМ6 и ТГМ6А — четырехосные, тележного типа, что обуславливает прохожде-

ние их по кривым минимального радиуса (40 м). Эти серии созданы на базе последовательного улучшения конструкции локомотива ТГМЗ, построенного в 1958 г. Сначала установили гидромеханическую передачу, а затем унифицированную гидравлическую. На тепловозе ТГМ4 — менее быстроходный и более надежный дизель 211Д1, а на серии ТГМ6А — мощный современный двигатель 3А-6Д49.

#### § 45. Тепловозы с электрической передачей

Основные технические характеристики магистральных (грузовых и пассажирских) тепловозов с электропередачей приведены в табл. 9, а маневровых (для возможности сопоставления их с другими локомотивами промтранспорта) — в табл. 8.

На промышленном транспорте эксплуатируются тепловозы ТЭЗ, ТЭМ1 и ТЭМ2. Первый из них, состоящий из двух одинаковых секций, развернутых относительно друг друга на 180°, относится к числу наиболее распространенных на железных дорогах нашей страны. На предприятиях он не используется преимущественно для вывозочной работы.

Секция (рис. 74) имеет две трехосные тележки 14, опирающиеся на них восемью специальными опорами 9 главную раму и кузов вагонного типа, в передней части которого находится кабина машиниста 15 с пультами управления. Конструкция ее обеспечивает

Таблица 9. Характеристики магистральных тепловозов

Параметры	Серия тепловоза			
	ТЭЗ	ТЭМ1	ТЭМ2	ТЭП70
	грузового	грузового/пассажирского	пассажирского	
Сцепная масса, т	2×127	2×138	120	126
Осяевая характеристика	2(3 <sub>0</sub> —3 <sub>0</sub> )	2(3 <sub>0</sub> —3 <sub>0</sub> )	3 <sub>0</sub> —3 <sub>0</sub>	3 <sub>0</sub> —3 <sub>0</sub>
Минимальный радиус проходимых кривых, м	125	125	90	125
Нагрузка от оси на рельсы, кН	206	226	196	206
Конструкционная скорость, км/ч	100	100	100/140	160
Скорость при длительном режиме, км/ч	20	24	24,2/35,5	49
Сила тяги при том же режиме, кН	396	496	241/172	167
Удельная масса тепловоза, кг/кВт	86	62	54	43
Марка дизеля	2Д100	1А-5Д49	1А-5Д49	2А-5Д49
Габаритные размеры тепловоза, мм:				
— длина (по осям автооспек)	2×16968	2×18150	20620	20470
— ширина	3272	3080	2950	2950
— высота (от головки рельсов)	4948	5254	4600	5080
Передача электрическая	постоянного тока	переменно-постоянного тока		
Мощность, кВт:				
— дизеля	2×1475	2×2210	2210	2945
— тягового агрегата	2×1350	2×2190	2000	2750
— тягового электродвигателя	206	305	305	411

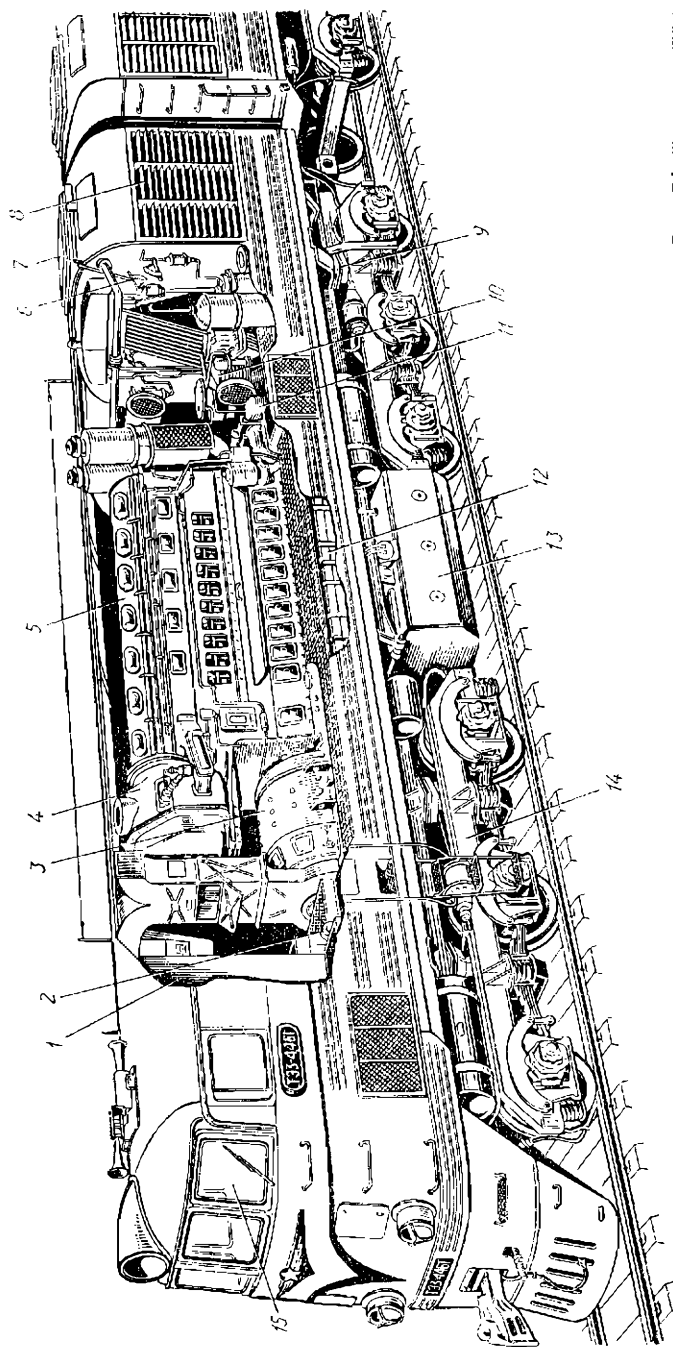


Рис. 74. Тепловоз ТЭ3.

хороший обзор пути и сигналов спереди локомотива. При движении в обратном направлении пользуются кабиной второй секции.

Высоковольтная камера 1 предназначена для размещения электрических аппаратов. Одновременно она, располагаясь рядом с кабиной, предотвращает проникновение сюда шума работающего двигателя.

В машинном отделении установлен дизель 5 с тяговым генератором 3. Свежий воздух поступает через соответствующие каналы и воздухоудовку 4; отработанные газы выбрасываются через выпускные трубы, находящиеся с противоположной стороны двигателя.

Кроме генератора, дизель приводит во вращение через редуктор 11 главный компрессор 10 и вентиляторы охлаждения тяговых двигателей задней тележки, а через редуктор 2 — такие же вентиляторы передней тележки и двухмашинный агрегат. Запас топлива содержится в баках 13. Холодильник тепловоза размещен в задней части секции; воздух для охлаждения поступает через верхние 7 и боковые 8 жалюзи, открытие и закрытие которых выполняется посредством привода 6, управляемого с кабины машиниста. Пуск дизеля осуществляется от аккумуляторной батареи 12, которая запитывает специальную обмотку главного генератора.

Тепловозы ТЭМ1 и ТЭМ2 (см. табл. 8) — шестисосные, тележечного типа, с осевым подвешиванием тяговых двигателей. В конструкции экипажной части много общего с тепловозом ТЭЗ и его последующими модификациями. Для обеспечения обзора в обоих направлениях применен кузов капотного типа.

На этих локомотивах установлены дизели средней быстроходности (типа Д50) мощностью соответственно 735 и 885 кВт. Электрическая передача постоянного тока обеспечивается тяговыми генераторами и двигателями. Благодаря ослаблению возбуждения последних достигается высокая конструкционная скорость — до 100 км/ч.

Преимущество рассматриваемых тепловозов в том, что их реверсирование (изменение направления движения) выполняется очень быстро (доли секунды), в то время как у локомотивов с гидроредукцией данный процесс длится 3—4 с. Если же сравнивать характеристики, то тепловоз ТГМ6А имеет более высокую силу тяги длительного режима и может вписываться в кривые меньшего радиуса, чем локомотивы ТЭМ1 и ТЭМ2.

Современные магистральные тепловозы выпускаются двух- и односекционными; в качестве ходовых частей используются трехосные тележки. Применяются дизели типов Д49 и Д70; передачи — постоянно-переменного тока. Мощность локомотива 2ТЭ116 в 1,5 раза выше по сравнению с серией ТЭЗ, что позволяет увеличить массу поезда. Пассажирский тепловоз ТЭП70 отличается высокими конструкционной (160 км/ч) и длительной (49 км/ч) скоростями, при этом, естественно, сила тяги меньше в 1,5—3 раза, чем у грузовых локомотивов.

Промышленностью освоено производство тепловозов, способных работать как с пассажирскими, так и грузовыми поездами. Приме-

ром может быть локомотив ТЭ109, выпускаемый в экспортном исполнении.

### **Контрольные вопросы**

1. Как расшифровываются буквы и цифры в обозначениях серий тепловозов?
2. Каковы особенности конструкции тепловозов ТГМ1 и ТГМ23?
3. Каким образом расположено оборудование тепловоза ТЭ3?
4. Какие серии тепловозов с электрической передачей применяются на промышленном транспорте?

## **Глава 14. УПРАВЛЕНИЕ ТЕПЛОВОЗОМ**

### **§ 46. Запуск и остановка дизеля**

Управление тепловозами различных типов характеризуется специфическими особенностями, поэтому в каждом конкретном случае следует пользоваться инструкциями по эксплуатации данного локомотива. Тем не менее ряд операций управления являются обязательными для тепловозов всех типов.

Перед пуском необходимо: произвести осмотр дизеля; проверить уровень масла в картере, регуляторе частоты вращения вала, компрессоре и масляном баке, а также наличие топлива; убедиться в исправности электрического оборудования и экипажной части. Тепловоз надо «поставить на тормоз» (ручной); главная рукоятка контроллера должна находиться в положении, соответствующем работе дизеля на холостом ходу, а реверсивная — в нейтральной позиции.

При подготовке к пуску последовательно включают:

- рубильник аккумуляторной батареи;
- автоматы «Масляный насос» и «Сигнально-контрольные приборы»;
- тумблер «Питание приборов»;
- автомат «Топливный насос»;
- автомат (кнопку) «Управление общее».

Убедившись по манометру в подаче топлива из баков к насосу высокого давления, машинист сообщает присутствующим о предстоящем пуске, дает предупредительный звуковой сигнал и нажимает на кнопку (тумблер) «Пуск дизеля». В результате включается электродвигатель масляного насоса и прокачивает систему смазки, после чего автоматически замыкаются пусковые контакторы и начинает вращаться коленчатый вал дизеля. Если по истечении 10—15 с не будет запуска, указанную выше кнопку следует отключить во избежание разрядки аккумуляторной батареи. Через несколько минут операцию можно повторить.

После пуска проверяется работа дизеля и отдельных его узлов, отсутствие утечек топлива, масла и воды, исправность вспомогательного оборудования. Затем прогриваются двигатель и гидropередача до нормального температурного режима, соответствующего инструкции по эксплуатации.

При необходимости остановить дизель рукоятки контроллера (штурвал управления) надо перевести в нулевые положения и затормозить тепловоз. Машинист выключает топливный насос, что вызывает снижение оборотов и остановку двигателя. На отдельных локомотивах имеются специальные тумблеры остановки или кнопки «Стоп».

## **§ 47. Трогание тепловоза и регулирование скорости**

Действиям машиниста и работе оборудования при трогании с места и движении локомотивов с различными видами передач присущи свои особенности.

Тепловозы с *электрической передачей* пускаются в ход путем включения тумблера «Управление машинами», а также постановкой реверсивной и главной рукояток в нулевые положения (последнюю из них — на первую позицию). Предварительно следует отпустить тормоз, убедиться в свободности пути и дать звуковой сигнал. При трогании машинист должен быть особо внимательным.

Процесс повышения скорости осуществляется последовательным переключением контроллера на более высокие позиции, причем на каждой из них необходимо делать выдержку времени для разгона локомотива.

Рассмотрим основные операции, которые выполняются электрическими аппаратами тепловоза ТЭМ2 при трогании и разгоне. Постановка реверсивной рукоятки контроллера машиниста в положения «Вперед» или «Назад» приводит к повороту вала реверсора и замыканию группы контакторов, которые обеспечивают включение обмоток возбуждения тяговых двигателей в схему, определяющую нужное направление движения, а также подготовку цепей управления песочницами, питания переднего прожектора и размыкания — заднего.

При переводе главной рукоятки на первую позицию вначале замыкаются контакты в цепи питания полюсов возбuditеля с последовательно включенными резисторами. Этот возбuditель (вращающийся ранее вхолостую) начинает вырабатывать э. д. с. Затем замыкаются поездные контакторы, которые соединяют главный генератор (также вращающийся вхолостую) с тяговыми двигателями. Наконец, происходит включение цепи от возбuditеля на соответствующие обмотки указанного генератора, и он начинает давать ток, а тяговые двигатели обеспечивают плавное трогание тепловоза и движение с малой скоростью.

На второй позиции контроллера машиниста происходит шунтирование части резисторов в цепи питания катушек полюсов возбuditеля, вследствие чего усиливается магнитный поток главного генератора. Напряжение на тяговых двигателях и частота вращения их якорей увеличиваются, что приводит к росту скорости тепловоза.

На третьей позиции контроллера шунтируется еще часть резисторов в цепи полюсов возбuditеля и, кроме того, запитывается один из электропневматических вентилях, управляющий регулятором

частоты вращения дизеля. В результате происходит дальнейшее повышение магнитного потока и числа оборотов главного генератора, мощность которого возрастает, что обуславливает неуклонное наращивание скорости движения.

На четвертой — восьмой позициях контроллера срабатывают другие вентили, управляющие регулятором дизеля, так что обеспечивается непрерывный рост частоты вращения якоря и соответственно — мощности генератора.

Увеличить скорость можно также путем ослабления магнитного потока тяговых двигателей. Такая операция осуществляется автоматически с помощью специальных реле «Управление переходами». При движении 20 км/ч и токе нагрузки генератора не выше 860 А (восьмая позиция контроллера) названное реле включит первую ступень ослабления магнитного потока, и скорость начнет повышаться. При разгоне до 32 км/ч и снижении тока до 860 А реле включит вторую ступень, и скорость еще больше увеличится.

Если сила тяги тепловоза будет возрастать (к примеру, на подъемах), то при усилении тока нагрузки тягового генератора до 1400 А произойдет последовательное автоматическое выключение ступеней ослабления магнитного потока. При этом скорость движения уменьшится.

Для тепловозов с *гидропередачей* подготовка к троганию заключается в следующем. При нулевом положении контроллера, опорожняющих гидроаппаратах и нормальном давлении воздуха в пневматической магистрали нажимают на рукоятку реверса и плавно переводят ее в нужную позицию, определяющую режим работы (поездной, маневровый), а также направление движения. После загорания сигнальной лампочки, свидетельствующей о реализации всех переключений в гидропередаче, рукоятку нужно отпустить. За это время произошла серия операций, выполненных автоматически с помощью электрических и пневматических аппаратов.

Если по истечении пяти секунд сигнальная лампа не загорелась (шестерни передач попали «зуб в зуб» и не входят в зацепление), рукоятку режим-реверса надо отпустить (не поворачивая) и нажать на нее снова.

Затем следует нажать кнопку «Гидропередача» и перевести рукоятку контроллера в 1-ю позицию. При этом первый гидротрансформатор наполняется маслом и вращающий момент передается на колесные пары тепловоза. По мере разгона рукоятка переключается на следующие положения.

В каждой позиции контроллера срабатывают электропневматические вентили, которые открывают доступ сжатого воздуха в пневматический прибор, обеспечивающий перемещение рычага регулятора частоты вращения дизеля в восемь фиксированных положений, чем достигается ступенчатое повышение числа оборотов двигателя. Соответственно увеличивается и скорость движения.

Переключения режимов работы гидропередачи производятся автоматическими приборами, принцип работы которых изложен выше.

Скорость тепловоза не должна превышать установленную для данного участка пути. С целью экономии топлива применяется режим движения «На выбеге». Для этого предварительно надо опорожнить гидромфуту (выключить кнопку «Управление гидропередачей»), а затем через 3—5 с перевести рукоятку контроллера в нулевое положение.

При достижении максимально допустимой скорости происходит автоматическое включение светового и звукового сигналов в кабине. Если по истечении 7—8 с не приняты меры к снижению скорости, автоматически срабатывают тормоза.

Во время движения особое внимание машинисты тепловозов должны уделять соблюдению установленных тепловых режимов дизелей и тяговых двигателей, а также гидро- и электропередач.

### **Контрольные вопросы**

1. Что обязан сделать машинист при подготовке дизеля к пуску?
2. Можно ли в холодное время года сразу после пуска выполнять поездную работу?
3. Какой порядок трогания и управления движением тепловоза с электрической передачей?
4. Как изменяются режимы работы тепловоза с гидропередачей при наборе позиций контроллера и повышении скорости?

## **Глава 15. МОТОВОЗЫ И АВТОДРЕЗИНЫ**

### **§ 48. Назначение и основные характеристики**

**Мот о в о з ы** — двухосные локомотивы мощностью до 200 кВт, предназначенные для выполнения маневровых работ и перемещения незначительного количества вагонов, — нашли широкое применение на складах, лесных разработках, небольших карьерах и других предприятиях.

Технико-экономическая целесообразность использования мотовозов для различных хозяйственных нужд заключается в том, что при сравнительно невысокой своей стоимости, малых габаритах и низких расходах на содержание и ремонт они как нельзя лучше удовлетворяют потребность именно в подобных тяговых средствах. Они же, кроме того, имеют небольшие нагрузки на ось и способны работать на путях, где невозможна эксплуатация тяжелых локомотивов.

Мотовозы прежних лет постройки оборудовались автомобильными двигателями и механической передачей. В последние десятилетия на смену бензиновым моторам пришли более мощные и экономичные дизели. При этом механическая передача становится ненадежной, и она заменяется гидравлической. В результате мотовозы как бы перерождаются в тепловозы малой мощности.

Мотовоз типа МК2/15 для железных дорог нормальной колеи 1520 мм (с автомобильным двигателем ЗИЛ-120), получивший достаточно широкое распространение, имеет сцепную массу 15 т, наибольшую скорость движения 65 км/ч и развивает силу тяги 22 кН.

Он способен перемещать по площадке поезд массой 150 т, что соответствует 5—6 порожним или 1—2 груженым четырехосным вагонам. При движении на подъемах (10%) возможности эти существенно (почти в 3 раза) уменьшаются.

Мотовоз оборудован пневматическим автотормозом и автоматическими. Его длина — 7346 мм, ширина — 2900 мм и высота — 3618 мм.

Для энергоснабжения путевых машин используются мотовозы-электростанции типа МЭС с дизелями 1Д12, которые приводят во вращение два генератора: один тяговый постоянного тока (мощностью 195 кВт), другой — трехфазного переменного (для питания внешних потребителей).

Мотовоз, управляемый с помощью контроллера машиниста, имеет электрическую передачу. Обе оси получают обороты от тяговых двигателей мощностью по 122 кВт каждый (подвеска — опорно-осевая).

Опыт эксплуатации мотовозов показал, что целесообразно (как у грузовых автомобилей) располагать на одной раме двигатель, кабину машиниста и кузов для размещения грузов (автодрезины) или пассажиров (автомотрисы).

**Автодрезины** — самоходные автономные двухосные экипажи — успешно применяются в путевом хозяйстве железных дорог (работы по текущему ремонту рельсовой колес, контактной сети и пр.). Раньше они, как и мотовозы, оборудовались автомобильными двигателями и гидромеханическими передачами.

Автодрезина ДГКУ, по дизелю и передаче унифицированная с тепловозом ТГК2, имеет раму, часть которой приспособлена под грузовую платформу. На крыше кабины машиниста смонтирован консольно-поворотный подъемный кран. В двигательном отсеке установлен генератор переменного тока мощностью 50 кВт, работающий от дизеля на стоянках и снабжающий питанием электромоторы крана или внешних потребителей.

Таким образом, автодрезина позволяет доставлять к месту ремонта запчасти, материалы и инструмент, пользоваться различными механизмами с электроприводом, выполнять погрузку-выгрузку тяжелых деталей.

Автодрезина ДГКУ (длина ее 12580 мм, габарит 01-Т) имеет дизель мощностью 170 кВт, сцепную массу 32 т и конструкционную скорость 80 км/ч. Она может производить маневры с поездом массой 300 т.

**Автомотрисы**, оборудованные кранами и изолированными подъемными площадками, используются для ремонта контактной сети и перевозки бригад рабочих.

## § 49. Устройство мотовозов

Рассмотрим в качестве примера конструктивную схему и основные узлы мотовоза МК 2/15 (рис. 75).

Ходовая часть состоит из двух колесных пар 2, диаметр кото-

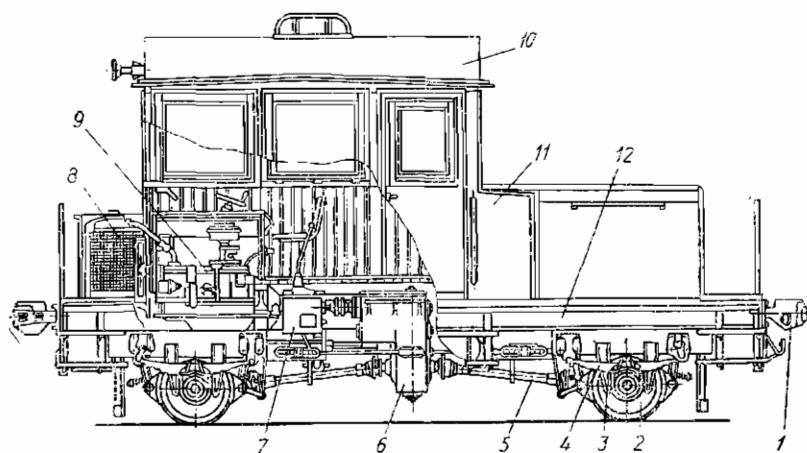


Рис. 75. Мотовоз МК2/15.

рых 600 мм. Роликовые буксовые узлы размещены в направляющих 3. Концы листовых рессор 4 посредством серьг соединены с рамой 12, снабженной автосцепкой 1.

Кузов имеет кабину машиниста 10 и специальный отсек 11, где находятся балластные грузы, обеспечивающие нагрузку на заднюю колесную пару. Снаружи кузов оборудован приборами освещения и сигнализации, предусмотренными правилами технической эксплуатации железных дорог (ПТЭ).

Двигатель карбюраторного типа 9 установлен внутри кабины. За ее пределы вынесены два радиатора 8 системы охлаждения. От вала двигателя момент сообщается коробке передач 7 с муфтой сцепления, заимствованной от автомобиля ЗИЛ, но без «заднего хода». Затем вращение передается на реверс 6, а от него через карданные валы 5 — на колесные пары.

Размещенный на двигателе компрессор питает сжатым воздухом тормозную систему мотовоза и соединенных с ним вагонов. Управление локомотивом производится из кабины машиниста.

## Контрольные вопросы

1. Каково назначение мотовозов, автодрезин и автомотрис? Какие их возможности и параметры?
2. Как устроен мотовоз?

## Глава 16. ПАРОВОЗЫ ПРОМЫШЛЕННОГО ТРАНСПОРТА

### § 50. Общая схема и основные характеристики

Паровозами называют локомотивы, силовые установки которых состоят из котла и паровой машины. Два десятилетия назад эти тяговые средства были основными на промышленном транспорте, че-

му во многом способствовали несложность их конструкции и изготовления, неприхотливость к виду, сорту и качеству топлива (можно сжигать уголь, дрова, мазут), сравнительная простота эксплуатации и ремонта. Однако низкий коэффициент полезного действия паровоза, составляющий всего 4—7%, тяжелые условия труда локомотивных бригад (задымленность, грязь, ручная подача угля в топку), необходимость частой заправки водой и невысокие тяговые свойства — все это привело к прекращению строительства паровозов.

Широкое распространение на промтранспорте получил локомотив серии 9П, основными элементами которого являются котел, паровая машина и экипажная часть.

Котел, служащий для получения пара, оборудован тонкой, загружаемой углем из кабины машиниста, к которой вплотную примыкает бункер для размещения запаса топлива. Котел и кабина опираются на мощную раму, имеющую в своих вырезах буксы трех колесных пар\*, приводимых во вращение паровой машиной с помощью кривошипно-шатунного механизма.

Кабина, рама и колесные пары составляют экипажную часть.

Мощность паровоза не превышает 220 кВт, сила тяги на крюке 100 кН, скорость движения 25 км/ч, сцепная масса 55 т.

Такие локомотивы, как 9П, т. е. не имеющие тендера (прицепной части, где размещается запас угля и воды), называют танк-паровозами. По сравнению с тендерными они лучше вписываются в кривые небольших радиусов, одинаково работают при движении вперед и назад, характеризуются меньшей массой и невысокой стоимостью, что и определило их преимущественное распространение на промышленном транспорте. Топливо размещается в бункере (ящике) позади кабины, а вода — в емкостях по бокам котла.

Эксплуатировались, кроме того, танк-паровозы нормальной колеи серий 137 (колесная формула 0—20) и 143 (0—3—0), узкоколейные К63 (0—4—0), Н86 (0—3—0) и др. Их технические параметры не выше, чем у локомотива 9П. Для вывозной работы и магистрального транспорта строились, к примеру, паровозы Э (0—5—0) и СО (1—5—0), мощность которых — 1100—1500 кВт, конструкционная скорость — 70 км/ч, сила тяги — 204 кН и сцепная масса — до 85 т.

## § 51. Устройство основных частей паровоза

Котел (рис. 76) в задней своей части имеет кожух топки 1, к которому с помощью тяг и обвязочного кольца крепится огневая коробка 2, где непосредственно происходит горение топлива. Деформация ее стальных стенок от нагрева вызывает перекосы соединительных тяг и не оказывает существенного воздействия на кожух топки.

Нижнюю часть огневой коробки составляет колосниковая решетка, через которую подается свежий воздух и удаляется зола.

\* Все они — ведущие, следовательно, колесная формула паровоза 0—3—0.

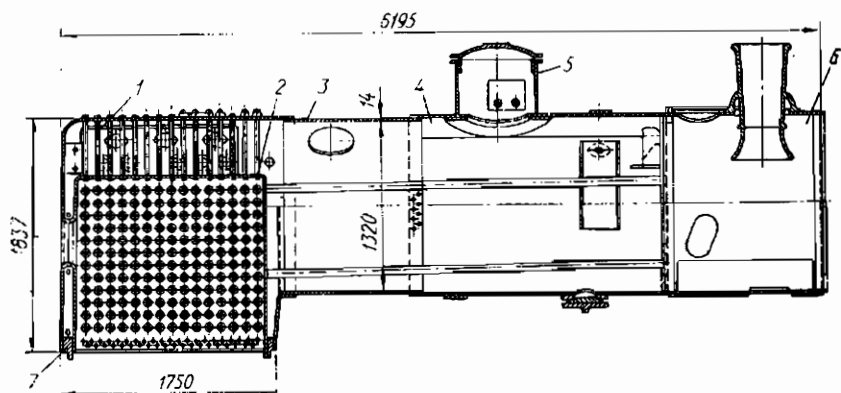


Рис. 76. Котел паровоза 9П.

Со стороны кабины машиниста коробка имеет отверстие (с дверцей) для забрасывания топлива, а со стороны котла она закрывается листом с прорезями для установки жаровых и дымогарных труб. Последние проходят по всей длине цилиндрической части котла, оборудованной задним 3 и передним 4 барабанами, выполненными из листовой стали толщиной 10—20 мм (в зависимости от давления пара, устанавливаемого для различных типов паровозов: 1—2 МПа). Барабан 4 снабжен поперечной решеткой, к которой присоединены указанные выше трубы. Пространство от нее и до лобового листа котла называют дымовой коробкой 6.

В цилиндрическую часть котла до принятого уровня наливается вода. Она нагревается от тепла жаровых и дымогарных труб, испаряется и образует пар с определенным давлением. В верхней части котла расположен сухопарник 5 — специальный колпак, откуда пар (здесь его влажность ниже, чем в котле) поступает в паровую машину, а от нее — в дымовую трубу. Выбрасываясь наружу, он создаст разрежение в коробке 6, вследствие чего улучшится тяга в топке паровоза.

Котел оборудован *инжекторами* (приборами для подогрева воды из баков и подачи ее в котел), а также следующей *арматурой*: паровым манометром, водомерным стеклом (для наблюдения за уровнем жидкости), водопробными кранами (на случай отказа упомянутого стекла), легкоплавкими контрольными пробками, предохранительными клапанами и свистком.

Контрольные пробки установлены с внутренней стороны огневой коробки и залиты оловянисто-свинцовым сплавом. Если в котле нет воды, они расплавляются (при 240—310°C), и в топку с шумом направляется пар, смешанный с водой. Локомотивная бригада должна немедленно освободить топку от угля и затушить паровоз.

Предохранительные клапаны предназначены для сброса излишков пара, если давление превысило допустимое.

Пар из котла в машины поступает через ряд устройств, называемых *гарнитурой*, — паропровод, сушитель, регулятор подачи, пе-

регреватель. Паросушитель (фильтр) обеспечивает отделение части воды механическим путем (за счет центробежных сил). Регулятор позволяет машинисту изменять силу тяги локомотива, увеличивая или снижая подачу пара. Для этого имеются два клапана — малый и большой, снабженные рычажным приводом, заканчивающимся ручкой управления в кабине. Пароперегреватель состоит из тонких труб, находящихся внутри жаровых. После прохода по ним пара температура его повышается до  $350\text{--}400^{\circ}\text{C}$ , что улучшает экономичность работы машин.

К гарнитуре котла относят также вспомогательные детали — люки, лазы, пробки.

Паровая машина состоит из цилиндра с золотниковой камерой, двигательного и парораспределительного механизмов. Слева и справа локомотива расположено по одной такой машине, независимой одна от другой: каждая приводит во вращение колеса «своей» стороны. Поскольку же они жестко посажены на ось, обе машины работают с одинаковой частотой.

Каждая одноцилиндровая машина с кривошипно-шатунным механизмом в крайних положениях поршня характеризуется мертвыми точками, при прохождении которых к колесам не прикладывается движущих сил. Чтобы эти точки не препятствовали троганию с места, левая машина опережает правую на угол  $90^{\circ}$ .

На рис. 77 — упрощенная схема работы паровой машины. Главный цилиндр двустороннего действия 2 имеет поршень 1 со штоком 3, который движется в параллельных направляющих ползуна (крейцкофа) 4, задавая одному концу дышла 5 поступательно-возвратные перемещения. Другой его конец, закрепленный с помощью валикового шарнира А на ведущем колесе, обеспечивает вращение последнего. К нему же посредством шарнира В присоединена эксцентриковая кулисная тяга 7, которая задает обратно-поступательные движения золотнику 9 со штоком 8 парораспределительного механизма.

Золотниковая камера 10 расположена над цилиндром. В момент показанный на схеме, свежий пар подается в левую полость цилиндра, и поршень движется вправо. Примерно через четверть оборота золотник переместится так, что пар будет поступать в правую полость, а через левую — удаляться в атмосферу.

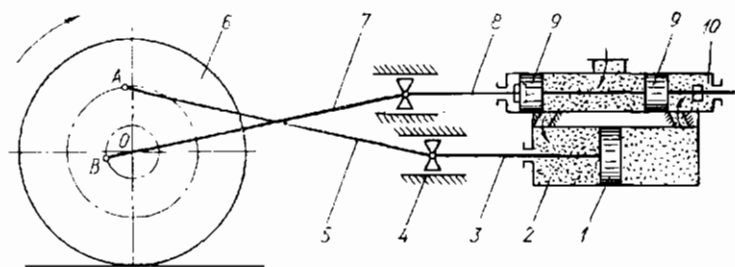


Рис. 77. Схема паровой машины.

Конструктивно управление работой золотника исполнено значительно сложнее, чем видим на схеме. Это связано с необходимостью реверсировать движение паровоза, уменьшать или увеличивать поступление пара в цилиндр, не регулируя положение точки *B* на вращающемся колесе. Применяется специальный кулисный механизм, позволяющий осуществлять все необходимые операции и управляемый с кабины машиниста.

К недостаткам паровой машины относятся неуравновешенность масс дышлового механизма и большая неравномерность крутящего момента за время поворота колеса, что вызывает при движении попеременное подергивание левой и правой сторон паровоза.

Колеса, установленные в жесткой раме и соединенные между собой дышлами, при прохождении кривых участков пути остаются в одной вертикальной плоскости. Чтобы внутренние колеса не препятствовали такому прохождению, они делаются без гребней.

Паровозы имеют тормозное оборудование, ударно-тяговые устройства, приборы освещения и сигнализации.

### Контрольные вопросы

1. Из каких основных частей состоит паровоз?
2. Как устроен котел паровоза?
3. Объясните принцип работы паровой машины.
4. Почему паровозы промышленного транспорта заменяют тепловозами и электровозами?

## Глава 17. ОРГАНИЗАЦИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЛОКОМОТИВОВ

### § 52. Локомотивный парк предприятия или транспортного объединения

Количество тяговых средств, образующих локомотивный парк предприятия или транспортного объединения, устанавливается из условия бесперебойного и своевременного выполнения заданного объема перевозок. Типы локомотивов определяют на основе технико-экономических расчетов и обоснований.

Различают *инвентарный* и *рабочий* (эксплуатационный) *парки*. Первый из них включает в себя весь наличный состав локомотивов, выполняющих поездную, маневровую и технологическую работу, а также пребывающих в ремонте и στο ожидании, на технических осмотрах или в резерве. Рабочий парк охватывает только локомотивы, находящиеся в технически исправном состоянии и осуществляющие перевозки. Связь между этими парками

$$L_n = L_p(1 + k) \quad (19)$$

где  $L_n$ ,  $L_p$  — инвентарный и рабочий парки, шт.;

$k$  — коэффициент, учитывающий локомотивы, находящиеся в ремонте и резерве.

Беличина  $k$  должна всесторонне обосновываться. Для ориентировочных подсчетов она составляет 0,15—0,25.

## Рабочий парк

$$Л_p = Л_n + Л_{ман} + Л_{сп}, \quad (20)$$

где  $Л_n$ ,  $Л_{ман}$ ,  $Л_{сп}$  — число локомотивов соответственно для поездной (вывозной) и маневровой работы, а также для обслуживания специальных технологических перевозок (доставки горячего чугуна в ковшах, слитков на тележках и пр.), шт.

Рабочий парк поездных (вывозных) локомотивов может быть подсчитан следующим образом:

$$Л_n = \frac{1}{24 - t_0} \left( \frac{2l}{v_y} + t_n + t_k \right) n_n, \quad (21)$$

где  $t_0$  — время на осмотр и экипировку локомотива за сутки его эксплуатации, ч;

$l$  — длина участка обращения поезда, км;

$v_y$  — средняя скорость движения на этом участке в обоих направлениях, км/ч;

$t_n$ ,  $t_k$  — время нахождения локомотива в ожидании составов на начальной и конечной станциях участка обращения, ч;

$n_n$  — число пар поездов в сутки на данном участке.

Если имеется несколько участков поездной (вывозной) работы, то найденные по формуле (21) величины для каждого из них следует просуммировать.

Рабочий парк маневровых локомотивов

$$Л_{ман} = \frac{g_1 k_1 + g_2 k_2 + 0,5(g_3 + g_4) k_3}{H(24 - t_0)}, \quad (22)$$

где  $g_1$ ,  $g_2$  — число груженых вагонов МПС: прибывающих и отправляемых ежедневно с предприятия, шт.;

$g_3$ ,  $g_4$  — количество вагонов данного предприятия: погруженных и разгруженных за сутки, шт.;

$k_1$ ,  $k_2$ ,  $k_3$  — коэффициенты, учитывающие соответственно неравномерность прибытия вагонов МПС, их отправления и выполнения внутренних перевозок;

$H$  — количество перерабатываемых груженых вагонов, отнесенное к одному локомотиво-часу работы, шт.

Число локомотивов для технологических перевозок устанавливается по фактической потребности.

**Пример.** Определить локомотивный парк завода, обеспечивающий:

1) вывозку отходов на расстояние  $l = 20$  км с участковой скоростью  $v_y = 10$  км/ч. Число поездов в сутки  $n_n = 6$ , среднее время ожидания локомотивом составов на начальной станции  $t_n = 1,9$  ч, на конечной —  $t_k = 1,2$  ч;

2) маневровую работу при количестве вагонов [см. формулу (22)]:  $g_1 = 102$  шт.,  $g_2 = 70$  шт.,  $g_3 = 385$  шт. и  $g_4 = 450$  шт. Часть груженых вагонов поступает с рядом расположенного предприятия;

3) круглосуточное обслуживание восьми технологических вертушек. Нормированное значение  $H = 3,86$ . Коэффициенты неравномерности по вагонам МПС  $k_1 = k_2 = 1,2$ , а по внутривозовским —  $k_3 = 1,15$ . Простой тепловоза на экипировке и техническом осмотре  $t = 0,75$  ч.

**Решение.** Потребное количество локомотивов для вывозной работы [см. формулу (21)]:

$$L_n = \frac{1}{24 - 0,75} \left( \frac{2 \cdot 20}{10} + 1,9 + 1,2 \right) 6 = 1,83.$$

Принимаем  $L_n = 2$ .

Для выполнения маневровых операций необходимо следующее количество тепловозов [см. формулу (22)]:

$$L_{\text{ман}} = \frac{102 \cdot 1,2 + 70 \cdot 1,2 + 0,5 (385 + 450) 1,15}{3,86 (24 - 0,75)} = 7,65.$$

Принимаем  $L_{\text{ман}} = 8$ .

Для обслуживания технологических вертушек (с учетом того, что до 20% локомотивов находятся в ремонте) получим  $L_{\text{ст}} = 8 / (1 - 0,2) = 10$ .

Рабочий парк тепловозов завода согласно уравнению (20)  $L_p = 2 + 8 + 10 = 20$ .

Инвентарный парк локомотивов [см. формулу (19)]  $L_{\text{и}} = 20 (1 + 0,2) = 24$ .

Таким образом, для выполнения заданного объема работ требуется 24 тепловоза.

### § 53. Управление локомотивом в условиях поездной и маневровой работы

В процессе управления локомотивом и ведения поезда машинист обязан обеспечить безопасность движения, строго выполнять правила технической эксплуатации. Кроме того, он должен в полной мере использовать мощность и тяговые возможности локомотива, экономно расходовать топливо и смазку, выявлять и устранять возникающие неисправности (отказы).

В задачи локомотивной бригады также входят: подготовка локомотива к работе; обслуживание его в процессе эксплуатации; экипировка; ежесуточный технический осмотр и др.

*Подготовка к работе* электровозов и тепловозов имеет специфические особенности, что связано с различием энергоснабжения этих локомотивов.

На электровозах и тяговых агрегатах предварительно необходимо произвести наружный осмотр, убедиться в закрытии кранов воздушных магистралей, после чего либо заправить пневматическую систему (от сети депо), либо включить рубильник аккумуляторной батареи, проконтролировать по вольтметру степень ее заряженности, подкачать малым мотор-компрессором сжатый воздух для подъема токоприемника. Затем машинист убеждается, что

все аппараты готовы к пуску, в высоковольтных камерах нет людей и двери туда закрыты, ручки контроллера находятся в нейтральных положениях, а крышесые разъединители включены. Вслед за этим он ставит в известность присутствующих (помощника или других лиц), что будет поднят токоприемник, дает звуковой сигнал и включает соответствующий аппарат.

Убедившись по приборам в наличии высокого напряжения, машинист включает мотор-компрессоры, генератор управления, проверяет работу всего оборудования, обращая особое внимание на действие тормозов, сигнализации и песочниц. При отсутствии каких бы то ни было неполадок электровоз считается готовым к работе.

На тепловозах наиболее важными операциями являются запуск и остановка дизеля (см. гл. 14, § 46).

*Поездная работа* начинается с прицепки к вагонному составу. При этом машинист и помощник внимательно следят за сигналами, состоянием пути и стрелочных переводов. Вспомогательный тормоз в кабине должен быть в любой момент готовым к действию. Не доезжая до состава 5—10 м, машинист останавливает локомотив, проверяет исправность автосцепок, тормозных рукавов, кратковременно продувает в атмосферу воздух из тормозной магистрали.

Приближение локомотива к поезду выполняется со скоростью до 3 км/ч. После прицепки необходимо убедиться в ее осуществлении, соединить магистрали тормозов локомотива и состава, произвести зарядку и опробывание автотормозов.

Получив разрешение на занятие перегона, машинист дает сигнал отправления, переводит рукоятку контроллера на первую позицию и, включив песочницу, следит за троганием поезда. Затем начинается его разгон. При появлении запрещающего сигнала или четких знаков аварийной ситуации от людей с пути, а также при возникновении препятствий, угрожающих безопасности движения и сохранности грузов, машинист обязан остановить поезд, о чем немедленно по радиосвязи сообщается диспетчеру. Затем выясняется возможность дальнейшего следования.

*Маневровая работа* производится в строгом соответствии с технико-распорядительным актом станции, местными инструкциями и правилами выполнения данной работы. Локомотивная бригада поддерживает постоянную радио- и визуальную связь с руководителем маневров (составительской бригадой), а также следит за показаниями сигналов, свободностью пути, правильностью перевода стрелок, сохранностью грузов и маневрируемых вагонов.

При маневрах часто изменяют направление движения локомотива. Эту операцию следует выполнять только после полной его остановки. Переключение реверс-режима тепловоза с гидравлической передачей должно производиться при опорожненных гидроаппаратах и давлении воздуха в магистрали не ниже 0,5 МПа.

При подходе к большой группе вагонов целесообразно за 30—40 м подать песок на рельсы, что улучшит трогание с места. Если такового не происходит из-за боксования и недостаточного тягово-

го усилия, надо быстро перевести рукоятку контроллера на нулевое положение, переключить реверсором направление движения и, набрав первую позицию, сжать состав, после чего вновь поставить реверсор в требуемое положение и повторить трогание.

При разгоне тепловоза набирают вторую и последующие позиции контроллера — не слишком быстро: во избежание резкого изменения нагрузок дизеля и боксования колес. В противном случае необходимо сбросить нагрузку (переводом рукоятки контроллера в нулевое положение), а затем подать песок и продолжить движение.

Поскольку при маневрах используются в основном тормоза локомотива, машинист обязан работать на такой скорости, чтобы обеспечить своевременную остановку поезда.

#### **§ 54. Особенности управления локомотивом одним лицом**

За каждым локомотивом для его обслуживания и управления закрепляются сменные бригады (машинист с помощником). Они периодически должны проходить медицинское освидетельствование, проверку знаний ПТЭ, должностных инструкций и техники безопасности.

Управление одним машинистом (без помощника) осуществляется на ряде предприятий при маневровых работах с целью повышения производительности труда и уменьшения эксплуатационных расходов. В данном случае соответствующими министерствами устанавливаются дополнительные требования к оборудованию локомотивов, порядок их содержания и использования. В зависимости от условий видимости и направления кривых участков пути машинисту надо быть то у правого (своего), то у левого (помощника) окна кабины. Поэтому локомотивы необходимо снабжать дублирующим левым пультом управления или переносным дистанционным (с гибким кабелем). Машинист, кроме того, должен иметь непрерывную радиосвязь с руководителем маневров и поездным диспетчером. Целесообразно, следовательно, установить и два микрофона. На рис. 78 показано оборудование левой стороны кабины тепловоза ТЭМ2.

Приборный щиток 1 имеет манометр для контроля давления воздуха в тормозных цилиндрах и кнопки управления механизмами расцепления автосцепок. Переносной дистанционный пульт 3 подвешивается на кронштейн или берется в руки машинистом. Нажатием кнопок можно изменять нагрузку, останавливать дизель, реверсировать движение, производить торможение и отпуск, подавать песок. Специальными сигнальными лампами машинист извещает составителей, с какой стороны он находится в данное время. Пульт радиостанции 2 размещен над приборным щитком. Управление тормозами выполняется также с помощью крана 4.

Иногда при небольшой длине состава и малой скорости практикуется обслуживание одним лицом поездных локомотивов, которые оборудуются устройствами автоматической остановки (на случай

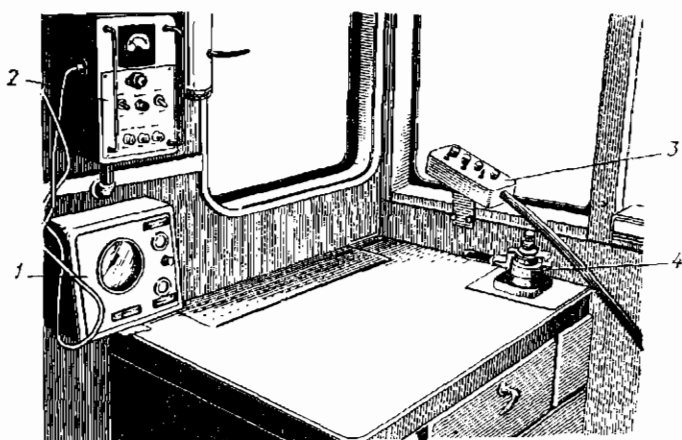


Рис. 78. Оборудование кабины тепловоза ТЭМ2 для управления одним машинистом.

потери машинистом способности к управлению). Известны, например, автостопы, периодически подающие контрольный звуковой сигнал. Услышав его, машинист должен нажать специальную рукоятку бдительности. Если же этого не сделать, произойдет авто-торможение поезда.

При обслуживании локомотивов одним лицом необходимы еще и организационные мероприятия, цель которых — обеспечить соблюдение ПТЭ и технику безопасности обслуживающего персонала. В соответствующей инструкции, исходя из местных условий, четко определяются обязанности и порядок взаимодействия машиниста с составителями поездов.

На ряде предприятий помощники машинистов осваивают специальность составителя и осуществляют его функции. Во время технического обслуживания локомотива и при другой необходимости они выполняют основные свои задачи.

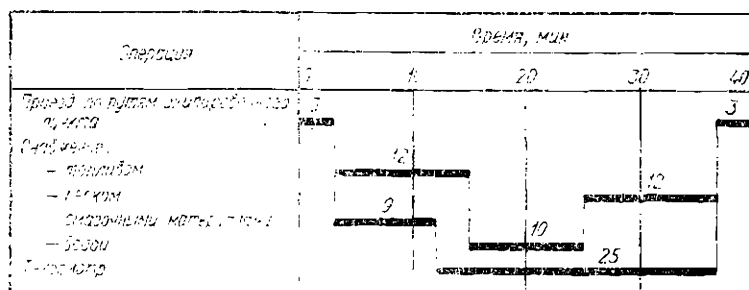
Работа локомотивных бригад должна систематически контролироваться руководителями соответствующих служб, а также машинистами-инструкторами, назначаемыми из расчета по одному на 10—15 единиц тяговых средств. Такой инструктор обязан проверять исполнение правил технической эксплуатации и должностных инструкций, обучать навыкам и передовым методам поездной и маневровой работы, способам экономии топлива и энергии, высококачественному содержанию локомотивов.

## § 55. Техническое обслуживание локомотивов

*Экипировка* тепловоза \* — это снабжение его топливом, смазочными материалами, водой для системы охлаждения и песком (против буксования).

\* Электровозы должны регулярно снабжаться только песком и периодически — смазочными материалами.

Таблица 10. График экипировки тепловоза



В зависимости от количества локомотивов и размеров предприятия (объединения) оборудуют несколько стационарных экипировочных пунктов. При этом исходят из удобства подачи к ним локомотивов, минимального здесь простоя и параллельного проведения техосмотра. Новые или реконструированные такие пункты должны обеспечивать реализацию всех операций с одной постановки локомотива (на одной позиции). Работы необходимо максимально механизировать, а при возможности — автоматизировать.

Стационарный экипировочный пункт тепловозов включает в себя следующие основные объекты:

склад дизельного топлива и масел, имеющих приспособления для слива из железнодорожных цистерн поступающих нефтепродуктов, резервуары для их хранения, а также кладовые;

устройства для непосредственной заправки тепловозов топливом и маслами (здания насосной станции и смазкораздаточного пункта, насосы, установки для подогрева названных продуктов в зимнее время, сеть трубопроводов, раздаточные колонки и шкафы на экипировочной позиции);

сливные приспособления и приемные баки для отработанного масла дизелей;

водоприготовительное отделение с соответствующими установками (выдача конденсированной и химически обработанной воды, используемой в системах охлаждения тепловоза);

нескопмбжающие устройства (сушильные печи, пневмотранспортная система, раздаточные бункеры);

смотровая канава для проверки локомотива снизу, а из крупных предприятий — механизированная установка для стальной очистки и обмывки.

На каждый пункт составляется технологический график проведения экипировки (нередко с техосмотром), утверждаемый начальником железнодорожного цеха предприятия. Пример такого графика (с совмещенными операциями) показан в табл. 10.

Если по характеру работы тепловозы постоянно находятся на значительном удалении от изучаемых пунктов, целесообразно иметь передвижные экипировки — на железнодорожном или авто-

мобильном ходу. Первая из них представляет собой платформу, где смонтированы емкости для топлива, масла, воды и песка, а также насосы, котел для подогрева и другое оборудование. Для экипировки тепловозов малой мощности применяется механизированный заправочный агрегат МЗ-3904 на автомобильном ходу.

Система текущего осмотра и ремонта локомотивов введена с целью содержания их постоянно в исправном и работоспособном состоянии. Виды\* и периодичность технического обслуживания устанавливаются министерствами, в подчинении которых находится промышленный транспорт.

На предприятиях черной металлургии предусмотрены три вида обслуживания тепловозов: служебный и профилактический ремонт, а также технический осмотр.

*Технический осмотр*, продолжающийся 0,5—1 ч, осуществляется локомотивной бригадой ежедневно; по времени он совмещается с экипировкой или со сменой бригад. Порядок его проведения (на смотровом стойле) в зависимости от местных условий устанавливается начальником железнодорожного цеха. Цель осмотра:

- проверить работу дизеля и основных его систем, электрических машин и аппаратов, гидротрансмиссии, приборов управления и контроля, а также экипажной части;

- выполнить операции ежедневного технического ухода (в том числе наружную очистку и обтирку, уборку помещений, смазку узлов и агрегатов, пополнение аккумуляторов дистиллированной водой, слив из отстойников продуктов отстоя);

- ликвидировать мелкие неполадки (подтянуть при необходимости крепления, сменить отработанные фильтрующие элементы, восстановить натяжение клиноременных передач и др.).

При обнаружении неисправностей, требующих значительных затрат труда и времени на их устранение, вызывается бригада слесарей либо локомотив направляется в депо для внепланового ремонта отказавших узлов. О всех выявленных неполадках делаются отметки в журнале технического состояния тепловоза по установленной форме.

Если локомотив обслуживается одним лицом, к выполнению осмотра также привлекается бригада слесарей.

*Профилактический осмотр (ремонт)* производится в локомотивном депо комплексными и специализированными бригадами. Он включает в себя весь объем технического осмотра с углубленной проверкой работоспособности узлов и агрегатов, а также некоторые дополнительные операции, связанные с частичной разборкой локомотива и пр. Профилактический осмотр выполняется через каждые 20—30 суток эксплуатации тепловоза. Простой в данном случае не должен превышать одной смены.

*Служебный ремонт*, установленный на предприятиях черной металлургии, осуществляется локомотивной бригадой в процессе эксплуатации и имеет целью проведение операций по уходу и мелкому

---

\* Основными видами являются технический и профилактический осмотры.

ремонту в периоды, когда тепловоз не занят непосредственно маневровой или вывозной работой, а также при смене бригад.

*Обслуживание локомотивов в зимнее время* характеризуется рядом особенностей. При низких температурах чрезмерно охлаждаются вода и смазка, возникает опасность уменьшения сопротивления изоляции тяговых двигателей в случае попадания снега и его таяния, появляется угроза образования ледяных пробок в воздушных трубопроводах и тормозных приборах, снижения коэффициента сцепления колес с рельсами и др. Поэтому необходимо заблаговременно готовить локомотивы к работе в подобных условиях и четко выполнять соответствующие правила.

Основные операции при подготовке локомотива к зимнему периоду следующие:

- замена смазки в моторно-осевых и буксовых подшипниках скольжения, опорах кузова, компрессорах и других узлах;
- проверка плотности систем вентиляции с установкой снегозащитных экранов;
- оборудование тяговых двигателей кожухами или чехлами;
- ревизия устройств пескоподачи и тормозной аппаратуры.

Утепляются водяная и (частично) топливная системы, а также кабины машинистов, проверяются и ремонтируются различные обогревательные приборы.

Перед началом смены локомотивные бригады должны очистить оборудование от снега и льда, убедиться в отсутствии пробок в трубопроводах, проконтролировать действие механизмов пескоподачи, состояние и крепление чехлов, снегозащитных штор и пр. При стоянках тепловоза менее 20 мин прерывать работу дизеля не рекомендуется, а при более длительных — он периодически запускается для прогрева. Пневматическую систему регулярно продувают с целью удаления влаги. Проверяется также сопротивление изоляции двигателей, и, если оно ниже установленной нормы, производится сушка этой изоляции либо специальным калорифром, либо пропусканием по обмоткам тока низкого напряжения.

Если поезд продолжительное время стоял при минусовых температурах, значительно возрастают силы сопротивления движению. Возможно, кроме того, обледенение контактной сети, что ухудшает токообразование. Переохлажденные электрические машины не следует сразу сильно нагружать. Надо, чтобы некоторое время прогрелись изоляция, смазка в подшипниках и пластины коллекторов.

## Контрольные вопросы

1. Какие локомотивы следует относить к инвентарному и рабочему паркам?
2. Как определить потребный рабочий парк локомотивов предприятия?
3. Какие основные операции выполняет локомотивная бригада при подготовке тепло- или электровоза к работе?
4. Как производится прицепка к поезду, трогание и движение с места?
5. Допустимо ли с целью ускорения маневров включать реверс и контроллер на обратный ход до остановки локомотива?

6. Какие требования предъявляются к конструкции приборов локомотива, а также — к машинисту при управлении одним лицом?
7. Назовите основные операции при эквипировке и смене бригады?
8. Какие особенности эксплуатации локомотивов в зимний период?

## Глава 18. ОРГАНИЗАЦИЯ РЕМОНТА ЛОКОМОТИВОВ

### § 56. Понятие о надежности подвижного состава

В современных условиях вопросы ремонта локомотивов (или вагонов) должны решаться на основе исследования параметров их надежности, основные термины которой определены ГОСТ 13377—75.

**Надежность** — свойство изделия (локомотива, вагона) выполнять заданные функции, сохраняя в необходимых пределах свои эксплуатационные показатели в течение требуемого промежутка времени (или пробега) при соблюдении условий технического обслуживания, ремонта и хранения. Чем выше она, тем меньше надобность в ремонтах. Но, с другой стороны, всякое повышение надежности связано с удорожанием изготовления локомотива. Поэтому уровень ее для подвижного состава должен устанавливаться в тесной связи с организацией ремонтных работ.

Надежность — комплексное понятие, включающее в себя четыре характеристики: безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость.

**Безотказность** — свойство локомотива (вагона) не терять работоспособности в течение определенного периода времени (или пробега) без вынужденных перерывов на неплановые ремонты.

**Долговечность** — свойство единиц подвижного состава сохранять работоспособность до предельного состояния, т. е. до списания и исключения из эксплуатации (с необходимыми перерывами для технического обслуживания и ремонта).

**Ремонтпригодность** — это приспособленность локомотива к обнаружению и устранению отказов путем техобслуживания и ремонта, а также к их предупреждению в процессе эксплуатации.

**Сохраняемость** — свойство изделий не терять своих качеств при хранении и транспортировке (данный показатель для подвижного состава не имеет определяющего значения).

В рассмотренных характеристиках важное значение уделяется *работоспособности* — способности локомотива выполнять свои функции, обусловленные техническими требованиями, и *отказу* — событию, при котором эта работоспособность нарушается.

Отказы могут быть постепенными (к примеру, износы, коррозия), внезапными (излом детали, пробой изоляции) и аварийными (заклинивание поршней дизеля, трещина рамы и др.).

Ремонт заключается в восстановлении работоспособности и обеспечении высокого уровня безотказности в течение установленного межремонтного периода или пробега.

Надежностью локомотива (вагона) принято считать вероятность (в долях единицы) безотказной работы за время  $t$ , обозна-

чающуюся как  $P(t)$  или просто  $P$ . Если известно, что в течение заданного периода надежность локомотива составляет, к примеру,  $P = 0,85$ , это значит: из 100 локомотивов 85 отработают время  $t$  без отказов, а у 15-ти произойдет хотя бы один такой отказ. Тогда говорят, что вероятность отказа  $q = 0,15$ .

Если определена надежность всех узлов локомотива ( $P_1$  — ходовых частей,  $P_2$  — тяговых двигателей,  $P_3, \dots, P_n$  — остальных деталей), то общая ее величина

$$P = P_1 P_2 P_3 \dots P_n. \quad (23)$$

Из формулы (23) следует, что надежность сложных систем значительно ниже надежности их элементов. Если, например, локомотив состоит из десяти основных узлов и для каждого из них  $P_y = 0,95$ , то для всего локомотива  $P = 0,95^{10} = 0,6$ . Если же  $P_y = 0,8$ , общая его надежность составляет лишь  $P = 0,8^{10} = 0,107$ .

Исследования надежности позволяют правильно определять виды и сроки ремонтов подвижного состава, устанавливать обоснованные технические требования на изготовление и ремонт локомотивов и вагонов.

## § 57. Виды ремонта локомотивов и межремонтные сроки

На магистральном и промышленном железнодорожном транспорте применяют единую планово-предупредительную систему ремонта, когда независимо от наличия отказов в определенные сроки выполняют следующие основные виды технического обслуживания и ремонта тепло- или электровозов:

- а) осмотры — технический и профилактический;
- б) ремонты — малый и большой периодические, а также подъемный и заводской.

Для тепловозов узкоколейных лесовозных железных дорог вместо двух видов периодического ремонта установлен один, а для паровозов — так называемый промысловый ремонт, во время которого производится очистка котла от грязи и накипи.

При *малом периодическом ремонте* помимо операций профилактического осмотра преследуется цель проверить и отрегулировать все узлы локомотива, ограничиваясь по возможности частичной их разборкой. При этом простой в зависимости от механизации процессов в него составляют 30—60 ч.

*Большие периодические ремонты*, осуществляемые после нескольких малых, включают в себя все операции последних и еще ряд работ, связанных с более полной разборкой и устранением ряда постоянных отказов. К примеру, в дизеле заменяются поршневые кольца, производится обточка колес без выкатки их из-под локомотива и т. д. Затем приступают к испытаниям узлов и агрегатов как во время стоянки, так и в движении. Продолжительность большого периодического ремонта — 5—10 рабочих суток.

*Подъемный ремонт* отличается тем, что кузов локомотива приподнимают домкратами, тележки выкатывают и разбирают, ре-

Т а б л и ц а 11. Виды и сроки ремонта локомотивов

Локомотивы	Виды ремонта и межремонтные сроки				
	Профилактический осмотр	Ремонты			
		малый периодический	большой периодический	подъемочный	заводской
Электровозы и тяговые агрегаты (по Минчермету)	15 сут	30 сут	9 мес	18 мес	3 года
Тепловозы:					
— поездные	15 сут	2 мес	1 год	2 года	6 лет
— внепоездные (маневровые, вывозные и др.)	20 сут	3 мес	1 год	2 года	6 лет

монтируют буксовые подшипники, тяговые двигатели и узлы их подвешивания, рамы и опорные детали, а параллельно устраняют неисправности, обнаруженные в основных элементах силового и электрического оборудования, регулируют и заменяют вышедшие из строя приборы на пульте управления, восстанавливают части изношенных поверхностей, окрашивают кузов.

Подъемочный ремонт является наиболее сложным, выполняемым в локомотивном депо (за 8—15 рабочих суток).

При *заводском ремонте* \* обязательно не только восстановление работоспособности и ликвидации отказов, но и повышение надежности локомотива до такого уровня, чтобы он мог сохранить ее до следующего такого ремонта (при условии осуществления всех предыдущих видов техобслуживания).

Для части локомотивов правилами предусматривается заводской ремонт двух объемов, причем второй из них — более сложный.

Периодичность ремонтов для локомотивов промышленного транспорта обычно определяется приказами министерств, ведомств и предприятий. Соответствующие сроки измеряются чаще всего временем эксплуатации, хотя для некоторых категорий локомотивов установлен также межремонтный пробег в тысячах километров (табл. 11).

Следует иметь в виду, что производство ремонтов значительной сложности исключает проведение подоспевших по сроку менее сложных. Так, в период между заводскими ремонтами тягового агрегата будут 1 подъемочный, 2 больших и 32 малых периодических.

Увеличение межремонтных сроков и пробегов — важное средство повышения эффективности локомотивного парка. Этого можно достигнуть путем улучшения технического обслуживания, своевременного и качественного проведения осмотров, модернизации и усовершенствования узлов и деталей, имеющих низкую надежность.

\* Как правило, он производится на локомотиворемонтных заводах промышленного транспорта или МПС.

Перед постановкой локомотива в ремонт заблаговременно изучаются записи о всех обнаруженных неисправностях во время эксплуатации и технических осмотров, составляются предварительные дефектные ведомости, где определяются дополнительные работы, не входящие в обязательный перечень для того или иного вида ремонта. Данное мероприятие позволяет повысить качество работ и предотвратить необходимость выполнения внеплановых ремонтов.

## § 58. Локомотивное депо и организация ремонта

В 1970—1973 гг. были утверждены типовые депо\* предприятий, предназначенные для восстановления работоспособности подвижного состава промышленного транспорта. В таких депо (на 2, 4, 8 и 14 стойл) предусмотрено проведение только двух ремонтов локомотивов — малого периодического и профилактического осмотра. Здесь же, кроме того, предполагается выполнение всех видов ремонта вагонов и дизельных кранов. Производство больших периодических и подъемочных ремонтов локомотивов планируется в крупных отраслевых (межотраслевых) депо на 24 или 35 стойл либо в соответствующих подразделениях МПС.

Локомотивно-вагонное депо на 14 стойл позволяет обслуживать 40 тепловозов и 400 вагонов. Общая его площадь — 10,5 тыс. м<sup>2</sup>, стоимость строительства — примерно 2 млн. руб. Депо имеет основные и вспомогательные цехи, служебно-административные и бытовые помещения. Всего здесь занято около 500 чел., среди которых 310 машинистов и их помощников, а также 160 производственных рабочих.

В настоящее время распространен *индивидуальный метод* ремонта, когда все снятое и восстановленное оборудование монтируется на том же самом локомотиве. Этот метод нельзя отнести к прогрессивным, так как простои непосредственно зависят от того, насколько быстро и своевременно будет отремонтировано указанное оборудование.

Значительные преимущества имеет *агрегатно-узловой метод*, когда отдельные детали (части) локомотива, отремонтированные заранее и находящиеся в кладовой депо, ставятся взамен вышедших из строя. Данный способ позволяет сократить время простоя, применить передовую технологию, механизировать трудоемкие операции. Он же, кроме того, делает возможным внедрение автоматизированной системы управления технологическим процессом ремонта локомотива (АСУ), строящейся на основе так называемых сетевых графиков, которые с учетом реального состояния дел обсчитываются на вычислительной машине. Согласно полученным результатам производится оптимальное планирование работы цехов, участков и бригад, обеспечивающее своевременное выполнение заданий и высокие качественные показатели.

\* Локомотивные или локомотивно-вагонные.

Значительная часть технологических операций связана с ремонтом деталей, подверженных постепенным отказам (износам).

В данном случае применяются различные способы. Так, если восстановление изделий возможно путем наращивания размеров под высоким давлением за счет *пластической деформации*, производят осадку, раздачу или обжатие детали, а затем (при необходимости) — механическую обработку и закалку поверхностей. Например, для восстановления первоначального диаметра поршневого пальца через имеющееся в нем отверстие продавливают несколько прошивок с постепенно увеличивающимся диаметром. Происходит раздача пальца: его наружный диаметр возрастает до нужного размера.

*Гальванический способ* основан на электролизе, когда в ванну с раствором химических соединений, содержащих металл требуемого покрытия, погружают изношенные детали, включают на них отрицательную фазу постоянного тока (катод), а положительную (анод) подсоединяют на специальные пластины. В результате прохождения электрического тока ионы покрытия осаждаются на поверхности деталей и создают слой из хрома, стали или никеля.

Сущность *металлизации* заключается в том, что на заранее подготовленную поверхность изделия наносится слой мелких частиц расплавленного металла.

При *электронаплавке* металл сварочного электрода последовательно наплавляется на изношенную часть детали, причем это место засыпается слоем специального порошка — флюса, который придаст данной поверхности необходимые механические качества. Применяется также газовая наплавка (к примеру, в струе горящего ацетилена).

*Восстановление изделий полимерами* состоит в том, что на поверхность наносятся клеевые составы и пластмассы, которые после застывания (полимеризации) образуют пленку или покрытие, отвечающее всем требованиям к новой детали.

Последний способ ввиду его простоты и надежности находит все более широкое распространение при наращивании изношенных поверхностей, заделывании дефектов и трещин, герметизации соединений. Восстановление полимерами в ряде случаев вытесняет сравнительно трудоемкие и дорогие способы — гальванический и металлизацию.

## Контрольные вопросы

1. Что такое надежность локомотива и какие характеристики она содержит?
2. В чем заключается ремонт с точки зрения теории надежности?
3. Почему надежная работа локомотива (вагона) может быть обеспечена только при высокой надежности всех его узлов?
4. Какие существуют виды ремонтов локомотива и какие основные операции выполняются при каждом из них?
5. В чем преимущества агрегатно-узлового метода ремонта перед индивидуальным?
6. Какие применяются способы восстановления изношенных деталей?

## Раздел второй

### ВАГОНЫ И АВТОТОРМОЗА

#### Глава 19. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ВАГОНАХ

##### § 59. Назначение и классификация

Вагоном называют единицу железнодорожного подвижного состава, предназначенную для перевозки грузов или пассажиров.

В первом случае — это *грузовые* вагоны (они широко используются на промышленных предприятиях), во втором — *пассажирские* (иногда их применяют для доставки рабочих смен и как лаборатории при проведении специальных исследований).

*Магистральные* вагоны служат для транспортировки грузов по сети железных дорог страны, в том числе сырья и готовой продукции заводов (фабрик, карьеров и т. д.).

Вагоны *промышленного транспорта* обеспечивают внутреннюю перевозку грузов на путях предприятия или транспортного объединения. В своем большинстве они имеют специальную конструкцию, позволяющую наиболее эффективно выполнять ту или иную операцию. Сюда же частично входят и магистральные вагоны, выделенные для внутреннего обслуживания предприятий.

Вагоны, используемые для перевозки породы и сырья на открытых горных разработках, называют еще вагонами *карьерного транспорта*.

Несмотря на разнообразие конструктивных форм вагонов, что связано с приспособлением их к транспортировке различных видов грузов, все они должны обеспечивать:

- безопасность движения поездов (т. е. безаварийную работу при любых режимах эксплуатации, устойчивость в рельсовой колеи, наличие мощных тормозных средств и др.);

- необходимый уровень механизации погрузочно-разгрузочных работ;

- сохранность грузов (не допускается их просыпание на путь, выветривание, а также порча вследствие обводнения, застывания расплавленных металлов и т. д.);

- надежность и прочность узлов и деталей всей конструкции;

- высокие технико-экономические показатели (эффективность эксплуатации);

- унификацию и взаимозаменяемость узлов и деталей (для удобства при техническом обслуживании и ремонте).

Грузовые вагоны делят на универсальные и специальные.

Первые из них — это крытые, полувагоны, платформы и цистерны, приспособленные для широкого ассортимента грузов. Так, крытый вагон предназначается почти для всех грузов, требующих защиты от атмосферных осадков, а полувагон — для сыпучих материалов, металлопродукции, автомобилей и др.

Преимущество универсальных вагонов заключается в низком порожнем пробеге: они могут загружаться в прямом и обратном направлениях. Однако при массовых перевозках однородных грузов в условиях промышленных предприятий предпочтение отдается специальным вагонам, в наибольшей степени отвечающим требованиям сохранности транспортируемых материалов, механизации погрузочно-выгрузочных операций, экономичности перевозок.

В нашей стране строится более 25 типов специальных вагонов, значительная часть которых относится к вагонам промышленного транспорта. При таком разнообразии конструкций можно выделить из них несколько основных типов.

*Вагоны-самосвалы (думпкары)* имеют открытый кузов (крыши нет), что позволяет осуществлять загрузку — с использованием различных машин, а разгрузку — путем опрокидывания кузова с помощью установленного здесь механизма. Думпкары получили широкое применение на промышленном транспорте.

Вагоны типа «хоппер» (для перевозки цемента, зерна, удобрений, окатышей, кокса и др.) также саморазгружающиеся, но в данном случае предусмотрены открывающиеся люки, расположенные либо под кузовом, либо в нижней части боковых стен. Главная особенность конструкции хопперов состоит в том, что их днища и торцовые стенки выполнены наклонными, чем достигается полное высыпание груза. Кузова бывают открытыми или оборудованы крышей.

*Специальные цистерны* предназначены для транспортировки вязких нефтепродуктов, кислот, сжиженных газов и тонкосыпучих твердых грузов.

*Транспортеры* (грузоподъемность — до 480 т, число осей — до 32) используют при перевозке сверхтяжелых и негабаритных грузов.

Технологические вагоны промышленного транспорта обеспечивают выполнение внутризаводских перевозок. Это — коксотушильные вагоны, чугуно- и шлаковозные чаши, платформы для изложниц, трансферкары, вагоны-весы.

Кроме классификации по виду перевозимых грузов вагоны различаются также по их технической характеристике: числу осей; ширине колеи; осевым нагрузкам; габариту подвижного состава. Согласно данному перечню вагоны бывают:

- а) двух-, четырех-, шести-, восьми- и многоосными;
- б) для нормальной колеи и узкоколейные;
- в) с осевыми нагрузками — общесетевыми (до 220 кН на ось) и с повышенными (до 345 кН);

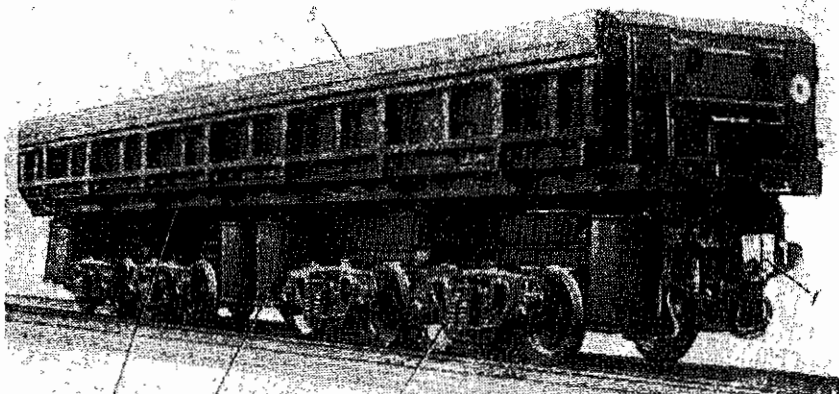


Рис. 79. Основные части вагона (на примере восьмиосного вагона-самосвала).

г) по различным габаритам подвижного состава в соответствии с ГОСТ 9238—73;

д) с правом выхода на магистральные пути и без такого права.

## § 60. Основные части вагонов

При всем многообразии конструкции вагоны имеют общие основные узлы (рис. 79): ударно-тяговые приборы 1, ходовые части 2, кузов 3, тормоз.

Ходовые части объединены в тележки, детали которых (при одинаковых нагрузках от колес на рельсы) унифицированы. Рама 4 кузова, предназначенного для размещения перевозимых материалов, обеспечения их сохранности и механизированных операций выгрузки, сваривается из прокатных профилей и воспринимает большую часть действующих здесь нагрузок. Кузова самопрокидывающихся вагонов имеют две рамы: нижнюю неподвижную и верхнюю поворотную. Многие вагоны промышленного транспорта оборудованы механизмами разгрузки 5.

Ударно-тяговые приборы служат для сцепления и расцепления вагонов, а также для амортизации продольных усилий, возникающих при соударениях и движении вагонов. Основным типом таких приборов является автосцепное устройство (СА-3, например).

Тормоза создают искусственные силы сопротивления, позволяющие регулировать скорость движения, быстро останавливать поезд, а также удерживать вагоны на месте как на горизонтальном пути, так и на уклонах.

Унификация и стандартизация однотипных узлов и деталей вагонов играет исключительно важную роль с точки зрения облегче-

ния их производства, эксплуатации и ремонта. Существует ряд стандартных деталей (колесные пары, буксы, автосцепки, тормозные цилиндры и т. д.), благодаря чему обеспечивается взаимозаменяемость, сокращение перечня запасных частей, гарантируется достаточная прочность, работоспособность и надежность тех или иных узлов.

## § 61. Техничко-экономические параметры вагонов

Под технико-экономическими параметрами понимается ряд характеристик, позволяющих оценивать возможности вагонов по перевозке, сравнивать их между собой и определять эффективность в эксплуатации. Основные такие параметры следующие: грузоподъемность ( $P$ ), тара ( $T$ ), объем кузова ( $V$ ), площадь пола  $F$ , линейные размеры ( $L_{\text{сц}}$  и пр.), а также коэффициенты тары ( $k_t$ ), осевые и погонные нагрузки ( $p$  и  $q$ ), удельный объем вагона ( $\epsilon_y$ ).

*Грузоподъемность* — установленная масса груза, на перевозку которого рассчитан конкретный вагон. Величина  $P$  — главный параметр, определяющий производительность промышленного транспорта в целом. Чем выше данная величина, тем больше груза может перевезти вагон в единицу времени.

Рост грузоподъемности является одним из важных показателей прогресса транспорта. Однако она не может устанавливаться произвольно: зависит от ряда других параметров, о чем будет сказано ниже.

*Тара* — это масса порожнего вагона. Общая его масса — с грузом (брутто)

$$P_{\text{бр}} = P + T. \quad (24)$$

*Коэффициентом тары* называют отношение

$$k_t = T/P. \quad (25)$$

*Допускаемые осевые нагрузки*  $p$  показывают, какая наибольшая из них может передаваться от каждой колесной пары на рельсы.

Масса вагона брутто выражается через величину  $p$ :

$$P_{\text{бр}} = pn_o/g, \quad (26)$$

где  $n_o$  — количество осей;

$g$  — ускорение силы тяжести.

Вычислим тару  $T$  через грузоподъемность  $P$  согласно отношению (25) и подставим в формулу (24), после чего приравняем правые части выражений (24) и (26). В результате получим важную зависимость

$$P = \frac{pn_o}{g(1 + k_t)}, \quad (27)$$

позволяющую проанализировать все основные факторы, определяющие грузоподъемность вагона.

Таблица 12. Зависимость грузоподъемности вагона от параметров  $p$  и  $n_0$  ( $k_T=0,4$ )

Осевая нагрузка, кН	4-осный вагон		6-осный вагон		8-осный вагон	
	Масса брутто, т	Грузо- подъем- ность, т	Масса брутто, т	Грузо- подъем- ность, т	Масса брутто, т	Грузо- подъем- ность, т
205	84	60	126	90	168	120
345	140	100	210	150	280	200

1. Она может быть повышена за счет увеличения допускаемой осевой нагрузки  $p$ , значение которой устанавливается исходя из прочности и интенсивности износа рельсов, скорости движения поездов и других показателей. Для магистральных железных дорог, где особое внимание уделяется снижению упомянутого износа,  $p = 205 - 220$  кН, для вагонов промышленного транспорта эта нагрузка значительно возрастает ( $p = 205 - 345$  кН), а для узкоколейных дорог  $p = 60 - 170$  кН.

Из приведенных данных видно, почему вагоны промышленного транспорта с осевой нагрузкой свыше 220 кН не имеют права выхода на магистральные пути МПС. Но, с другой стороны, повышение ее дает возможность резко поднять производительность вагона за счет увеличения грузоподъемности.

2. Число осей  $n_0$  также влияет на параметр  $P$ , поэтому важной задачей является создание многоосных большегрузных вагонов. Среди них, кроме четырехосных (базовых), все большее распространение в последние годы получают шести- и восьмиосные.

Максимальный эффект приносит одновременное возрастание показателей  $n_0$  и  $p$  (табл. 12). Но повышение осности приводит к усложнению конструкции, что несколько ухудшает параметр  $k_T$ .

3. Коэффициент тары  $k_T$  в отличие от ранее рассмотренных показателей целесообразно не увеличивать, а снижать, так как в формуле (27) он входит в знаменатель. Уменьшение это достигается за счет применения в конструкциях новых высокопрочных и легких материалов, а также путем осуществления комплекса других мероприятий, направленных на облегчение вагонов в процессе их изготовления.

*Линейные размеры*, как правило, приводятся в технической характеристике вагона. Основные из них показаны на рис. 80:  $L_{сц}$  — полная длина вагона, которая определяется по условным осям сцепления и учитывается при установлении размера всего поезда;  $2L$  — длина кузова ( $L$  — половина его размера до оси симметрии вагона);  $2l$  — база вагона

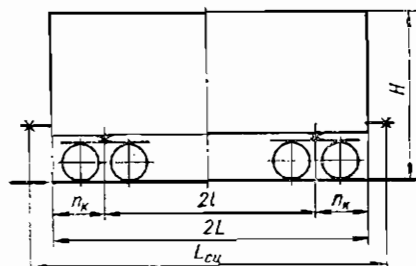


Рис. 80. Линейные размеры вагона.

(расстояние между опорами кузова);  $l_k$  — длина консольной части;  $H$  — полная высота вагона от уровня головок рельсов. Ширина кузова обозначается как  $2B$ .

*Погонная нагрузка*  $q$  — это приходящаяся на 1 м пути от полнотью загруженного вагона:

$$q = gP_{\text{гр}}/L_{\text{ст}}. \quad (28)$$

Допускаемая ее величина определяется прочностью мостов и других искусственных сооружений. Чем выше показатель  $q$ , тем короче может быть вагон, что экономически целесообразно, поскольку уменьшается длина поезда, а следовательно, — станционных путей и разгрузочных эстакад.

Значение наибольших погонных нагрузок достигают для вагонов:

- а) магистральных — 80—85 кН/м;
- б) промтранспорта — 120—145 кН/м;
- в) узкоколейных — 30—35 кН/м.

*Удельным объемом*  $v_y$  называют отношение параметра  $V$  к грузоподъемности вагона:

$$v_y = V/P. \quad (29)$$

Для платформ вместо значения  $v_y$  используют удельную площадь пола

$$f_y = F/P. \quad (30)$$

Для специальных вагонов показатель  $v_y$  подбирается исходя из объемной массы данного груза, а для универсальных — в результате анализа рода транспортируемых материалов и доли участия их в перевозках. Оптимальные величины  $v_y$  и  $f_y$  должны обеспечивать наименьшую себестоимость доставки грузов.

## Контрольные вопросы

1. Какие главные требования предъявляются к вагонам?
2. Какие вагоны относятся к универсальным, специальным и технологическим?
3. Из каких основных частей состоит вагон?
4. Что такое грузоподъемность, тара, осевая и погонная нагрузки, удельный объем вагона?

## Глава 20. ХОДОВЫЕ ЧАСТИ ВАГОНОВ

### § 62. Колесные пары

Колесная пара обеспечивает движение в рельсовой колее, воспринимает все действующие на вагон силы и передает их на рельсы. Она относится к наиболее ответственному стандартизованным деталям, что предъявляет повышенные требования к качеству ее изготовления, ремонта и эксплуатации.

Конструктивно колесная пара (на рис. 81 — половина ее) состоит из оси I и двух колес II. *Ось* представляет собой брус кругло-

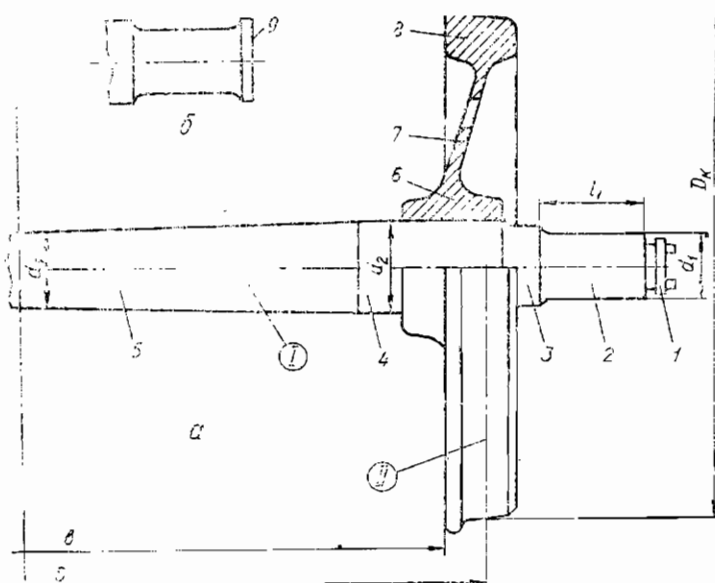


Рис. 81. Колесная пара вагона.

го сечения, выполненный из специальной стали. В зависимости от формы торцевой части различают оси для роликовых подшипников (а) и подшипников скольжения (б).

Роликовая ось имеет следующие части: 1 — резьбовую (для гасящего крепления подшипников, которые одеваются на шейку 2); 3 — предподступичную (переходную к подступичной 4, на которую напрессовывается колесо). Далее следует средняя часть 5 — цилиндрическая или конусная с уменьшением диаметра к центру оси. Шейка для подшипника скольжения имеет буртик 9, ограничивающий его перемещение.

Размеры осей и их элементов для вагонов промышленного транспорта зависят в основном от допускаемых величин нагрузок от колесной пары на рельсы. Размеры новых осей магистральных вагонов ( $p=215$  кН) установлены согласно ГОСТ 22780—77, а старотипных — инструкциями МПС (табл. 13).

Те же оси, поставленные под вагоны промышленного транспорта, характеризуются величиной  $p$ , достигающей 245 кН. Причиной здесь служат более низкие скорости движения и, как следствие, — меньшие динамические ускорения, приходящиеся на вагон и его элементы. Для повышенных значений  $p$  (345 кН) все размеры осей соответственно увеличиваются (см. табл. 13).

Еще большие осевые нагрузки допускает специализированный (технологический) подвижной состав. Например, у некоторых типов чугуновозов и тележек для изложниц параметр  $p$  достигает 590 кН. В данном случае размеры осей изменяют с учетом установленной скорости движения — чем ниже она, тем меньше могут быть

Таблица 13. Типы и размеры осей вагонов

Осевые нагрузки при эксплуатации, кН		Тип оси	Подшипники*	Размеры новой оси, мм			
на путях протранс- порта и МПС	только на путях протранс- порта			Диаметр шейки ( $d_1$ )	Длина шейки ( $l_1$ )	Диаметр части	
						подсту- пичной ( $d_2$ )	средней ( $d_3$ )
215	245	PV-I	рол.	139	176	194	185
215	245	PV	рол.	135	248	194	185
215	245	cIII	ск.	145	254	194	165
—	295	cIV	ск.	155	280	208	183
—	345	—	рол.	160	158	216	188

\* Подшипники скольжения (ск.) и роликовые (рол.).

диаметры частей оси. В итоге эти размеры оказываются несколько больше, чем для осевых нагрузок 345 кН и скорости до 70 км/ч.

Колеса вагонов в большинстве своем — безбандажные цельнокатанные из специальной стали. Состоят они (см. рис. 81) из ступицы 6, диска 7 и обода 8, наружная часть которого, контактирующая с рельсом, называется поверхностью катания. Последняя, как и весь обод, должна быть особо прочной и износостойкой.

Стандартный профиль указанной поверхности (рис. 82) имеет с внутренней стороны фаску под углом  $45^\circ$  и уклон 1:7 для облегчения прохождения колесной парой стрелочных переводов. Далее следует основная поверхность катания, выполненная с уклоном 1:20. Такая конфигурация обеспечивает самоустановку колес в колее и более равномерный их износ. Наконец, с наружной стороны колеса есть гребень, предупреждающий сход с рельсов.

На расстоянии 70 мм от наружной поверхности обода со стороны гребня находится условный круг катания, по нему измеряют диаметр колес (для новых — 950 мм), а также их прокат (глубину износа), который не должен превышать 9 мм.

Важный показатель — толщина гребня; определяемая на расстоянии 18 мм от его наружной поверхности.

Для вновь изготовленных и обточенных колес толщина эта составляет 33 мм, а минимально допускаемая величина — 25 мм.

Колесные пары, у которых прокат или толщина гребня не соответствует норме, должны изыматься из эксплуатации и подвергаться ремонту. Соединение оси с колесами производится

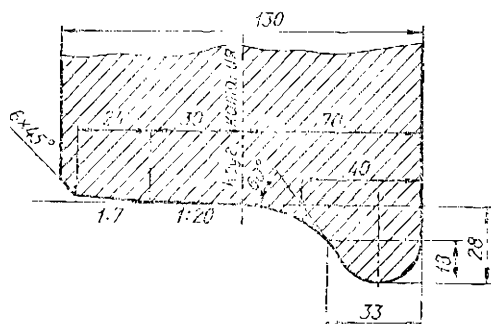


Рис. 82. Профиль поверхности катания колеса.

на специальных гидравлических прессах. Первоначальный диаметр подступичной части на 0,1—0,25 мм больше диаметра отверстия в ступице, за счет чего обеспечивается натяг и прочность соединения.

У вновь сформированных колесных пар нормальной колеи (см. рис. 81) расстояние между внутренними гранями ободов  $b = 1440_{-2}^{+1}$  мм. Тогда расстояние между кругами катания  $s = 1580$  мм (в среднем).

Основные направления совершенствования колесных пар следующие:

- уменьшение веса (не только облегчится вагон, но и снизятся динамические силы во время его движения);

- повышение упругости колес (лучшим станет выисывание вагона в кривые участки пути малого радиуса и уменьшатся износы гребней);

- достижение высокой эксплуатационной надежности колесной пары (возрастает безопасность движения).

## § 63. Буксы

Вагонные буксы, бывающие с подшипниками качения (роликовые) или скольжения, обеспечивают передачу всех нагрузок от вагона на вращающуюся шейку оси, непрерывную смазку трущихся (перекатывающихся) деталей, защиту от влаги, грязи и пыли, чем достигается низкий коэффициент трения в подшипниках.

*Роликовая букса* показана на рис. 83. Ее корпус 2 в передней части закрывается крышкой 1, а в задней — специальным лабиринтным уплотнением 3, не пропускающим пыль и влагу за счет узких зазоров, заполненных смазкой. Внутри буксы размещены два цилиндрических подшипника: задний 4 и передний 5. Каждый из них имеет внутреннюю и наружную обоймы (кольца), между которыми расположены ролики, удерживаемые сепараторами на определенной дистанции. Подшипники одеты на шейку способом горячей посадки, а снаружи закреплены торцевой гайкой 6 (либо специальной шайбой). Внутри буксы при ее монтаже закладывается необходимое количество смазки.

*Букса с подшипниками скольжения* (рис. 84) состоит из стального корпуса 1, закрытого снаружи крышкой 6, а с задней стороны — рамкой (уплотняющей шайбой) 5 с упругим (резиновым или войлочным) вкладышем. На шейку оси установлен подшипник 2, нижняя часть которого залита слоем антифрикционного материала — баббита. Для удобства размещения и съема подшипника между ним и корпусом имеется вкладыш 3. В нижней части корпуса, куда заливают осевое вагонное масло, расположено смазкоподающее устройство — польстер 4.

Опыт эксплуатации грузовых вагонов на магистральных путях МПС показал, что отказы роликовых букс происходят в 40—50 раз реже, чем букс с подшипниками скольжения. Первые из них, кроме того, характеризуются более низким коэффициентом трения, не

Рис. 83. Роликовая букса вагона.

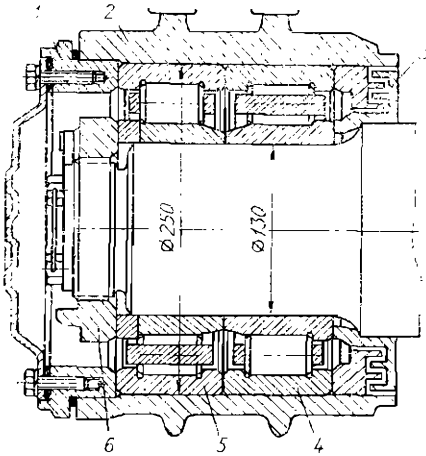
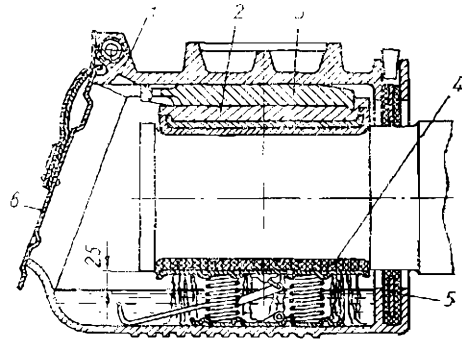


Рис. 84. Вагонная букса с подшипником скольжения.



требуют смазки и специального персонала для текущего обслуживания, имеют удельное сопротивление при трогании с места в 5—10 раз меньше, чем буксы с подшипниками скольжения. Последнее преимущество в обязательном порядке следует не упускать из виду при организации станционных работ. Легкое трогание вагонов может привести к самопроизвольному их движению (из-за ветра, на уклоне). Необходимо принимать меры к затормаживанию таких вагонов стояночным тормозом либо башмаками.

Горение букс — одно из наиболее серьезных нарушений безопасности движения (может произойти отвал шейки оси с последующим крушением поезда). Горение — результат аварийного повышения коэффициента трения в буксе, когда выделяемого тепла становится больше, чем отводимого. Чтобы предотвратить этот процесс, надо организовать техническое обслуживание букс, четкий контроль за их температурой.

Горение чаще наблюдается у букс с подшипниками скольжения, а потому в настоящий период они заменяются на роликовые.

## § 64. Рессорное подвешивание вагонов

Под таким подвешиванием понимают систему рессор (пружин) и гасителей колебаний, предназначенную для смягчения ударных сил, действующих на вагон в процессе его движения. Упругими элементами преимущественно служат винтовые цилиндрические пружины, выполненные из круглого прутка специальной стали (ГОСТ 1452—76). Имеются также вагоны с применением рессор, которые изготавливаются из набора прямоугольных листов, стянутых хомутом. Но они тяжелее пружин и занимают больший объем.

Рессоры (пружины) характеризуются жесткостью и гибкостью.

*Жесткостью* называют силу, которая вызывает прогиб рессор — одной или нескольких (комплекта), равный единице:

$$c = Q:f, \quad (31)$$

где  $Q$  — действующая сила, кН;

$f$  — прогиб, т. е. разность между начальной и конечной высотой рессоры, мм.

*Гибкость* — это прогиб рессоры (пружины) под действием силы, также равной единице:

$$\lambda = f/Q. \quad (32)$$

Жесткость и гибкость являются взаимно обратными величинами:

$$c = 1/\lambda; \lambda = 1/c. \quad (33)$$

Чтобы подобрать рессорное подвешивание необходимой жесткости (гибкости), набирают комплект параллельно работающих пружин, причем с меньшим диаметром нередко вставляют внутрь больших (для экономии объема). Жесткость таких пружин (двух- или трехрядных)

$$c_k = c_1 + c_2 + \dots + c_n, \quad (34)$$

где  $c_1, c_2, \dots, c_n$  — жесткость каждой из них.

Свойства рессорного комплекта в целом характеризуются также *статическим прогибом*, т. е. величиной его сжатия под грузным вагоном на стоянке. Данный прогиб определяется исходя из формулы (31):

$$f_{ст} = Q_k/c_k, \quad (35)$$

где  $Q_k$  — нагрузка на комплект.

С одной стороны, статический прогиб желательно брать по возможности большим (это положительно влияет на плавность хода), но с другой, — при слишком повышенном значении  $f_{ст}$  кузова грузных вагонов просядут гораздо ниже, чем порожних, что может вызвать затруднения при их сцеплении (разность высот автосцепок не должна превосходить 100 мм). Поэтому для большинства вагонов рессорные комплекты подбирают так, чтобы статический прогиб не превышал 50 мм.

При движении вагона вследствие периодических ударов на стыках рельсов может возникнуть резонанс. Поскольку данное явление нежелательно, в рессорные комплекты устанавливают специальные устройства — *гасители колебаний*. Схема такого гасителя — клинового, применяемого в двухосных тележках, показана на рис. 85, а.

Надрессорная балка 3,

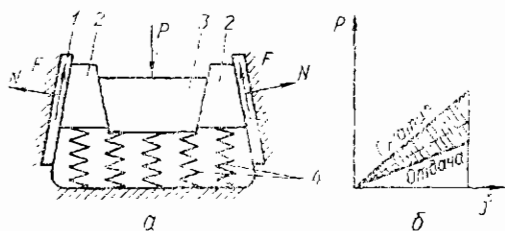


Рис. 85. Схема рессорного комплекса с гасителем колебаний системы инж. Ханина (а) и соответствующая парактеристика (б).

нагруженная силой  $P$ , имеет наклонные поверхности, которыми опирается на фрикционные клинья 2, в результате чего они прижимаются к наладкам 1 с некоторой силой  $N$  и при колебаниях на пружинах рессорного комплекта 4 трутся об эти накладки. Силы трения  $F$  всегда направлены против движения клинсьев, а работа данных сил превращается в тепло. Следовательно, гаситель преобразует часть механической энергии колебаний в тепловую.

Гаситель приводит к возрастанию силы сжатия и уменьшению силы отдачи рессорного комплекта (см. рис. 85, б). Заштрихованная здесь площадь определяет энергию сил трения, которая гасится за каждый период колебаний всех пружин.

## § 65. Двухосные тележки вагонов

Колесные пары обычно группируются в тележки, обеспечивающие:

- передачу нагрузок от кузова вагона на рельсы;
- смягчение динамических усилий и ускорений при движении поезда, поскольку в тележках размещены рессорные комплекты;
- облегчение вписывания вагона в кривые участки и прохождение переломов профиля пути;
- снижение уровня воздействия неровностей колес на кузов: легко показать, что если одна колесная пара наехала на неровность глубиной  $\delta$ , а другая в это время находится на прямом участке, кузов (без учета рессорного подвешивания) переместится на  $0,5 \delta$ .

Различают тележки двух-, трех-, четырех- и многоосные. Двухосные (типа ЦНИИ-ХЗ-0) подкатывают под грузовые вагоны магистральных железных дорог. Тележки для подвижного состава промышленного транспорта отличаются в основном лишь размерами и повышенной прочностью узлов и деталей; конструктивная схема при этом — аналогична.

Двухосная тележка (рис. 86) состоит из двух колесных пар 1 с буксовыми узлами 4, на которых установлены литые боковые рамы 2. В нижнем их поясе размещен рессорный комплект 5, насчитывающий до семи двухрядных пружин с клиновым гасителем колебаний 3. На рессоры опирается литая балка 7, имеющая детали для сочленения с кузовом вагона — скользуны 9 и подпятники 6, в центре которой есть отверстие, куда вставляется стальной прут — шкворень. Позиция 8 — тормозная система.

Тележка ЦНИИ-ХЗ-0, предназначенная для осевых нагрузок до 215 кН, имеет базу 1850 мм, конструкционную скорость 120 км/ч и массу 4,65 т. Статический прогиб ( $f_{ст}$ ) составляет 45—50 мм, поэтому для легковесных кузовов допускается постановка шести- и пятипружинных комплектов. Эта тележка подкатывается под вагоны промышленного транспорта с осевыми нагрузками 245 кН.

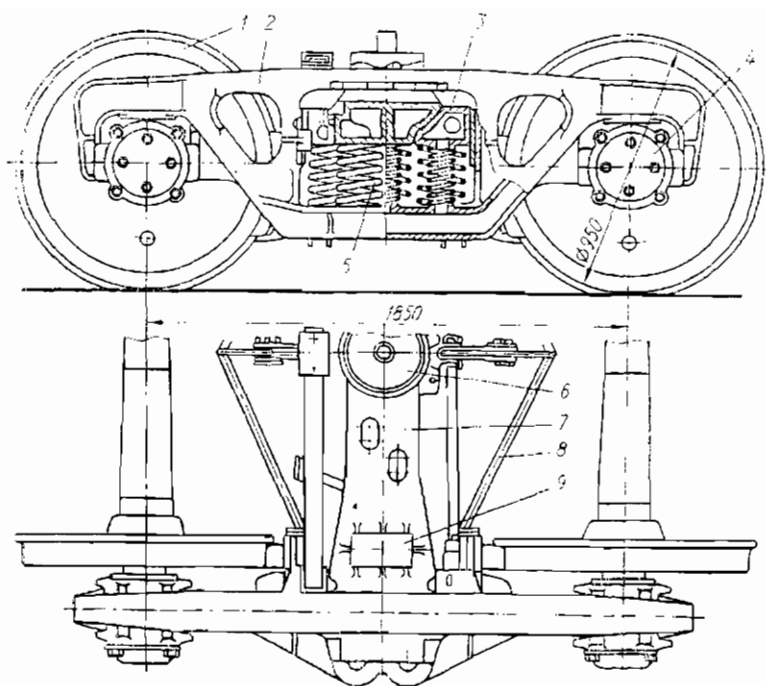


Рис. 86. Двухосная тележка вагона типа РНИИ-ХЗ-0 (модель 18—100).

Тележки моделей ДВЗ-30 и 18-477-30, имеющие конструкционную скорость 70 км/ч и устройство которых аналогично вышеописанному, рассчитаны на повышенные осевые нагрузки — соответственно до 294 и 343 кН.

Тележки специализированного (технологического) подвижного состава имеют различные конструктивные особенности. Так, одна из них — модель 18-107 — отличается специальным болтовым соединением боковых рам с колесными парами, благодаря чему исключается самопроизвольная их выкатка при сходе с рельсов. Здесь отсутствуют гасители колебаний, поскольку скорости движения небольшие, нет тормозного оборудования, так как тележка устанавливается под ковши чугуновозов, где нельзя разместить соответствующие приборы.

## § 66. Трех- и четырехосные тележки вагонов

Если число осей в тележке больше двух, должны удовлетворяться условия равномерности передачи вертикальных нагрузок на колесные пары, а также обеспечиваться беспрепятственное вписывание в кривые малого радиуса и прохождение перегибов продольного профиля пути.

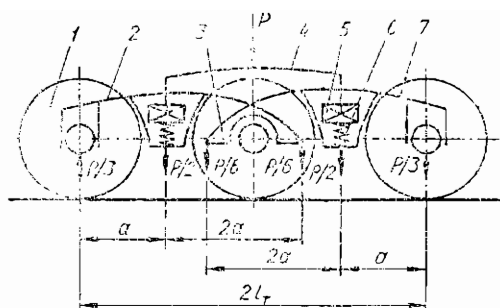


Рис. 87. Схема передачи нагрузок в трехосной тележке.

Типовая трехосная тележка (на рис. 87 дана упрощенная схема) сочленяется с кузовом вагона посредством Н-образной литой шкворневой балки 4; на нее полностью передается нагрузка  $P$ , распределяемая затем поровну на две балки 5, концы которых опираются на четыре одинаковых рессорных комплекта 6 (каждый состоит из пяти пружин, внутри одной из них встро-

ен гаситель колебаний специального типа).

Далее нагрузки равномерно передаются на левые и правые боковые рамы — 2 и 7 (они взаимозаменяемы по диагонали). Каждая из них одной стороной опирается на буксу, а другой — на балансир 3, представляющий собой двухплечий рычаг.

Расстояния от центра рессорного комплекта до оси крайней колесной пары 1 и до шарнира балансира составляют соответственно  $a$  и  $2a$ , в связи с чем на буксы указанной пары приходится от боковины нагрузка  $P/3$ , а на шарнир балансира —  $P/6$ . В итоге на среднюю колесную пару передается с обоих плеч рычага нагрузка  $P/3$ , по столько же — на крайние пары.

Соединение боковых рам тележки с балансирами выполнено таким образом, чтобы обеспечить взаимные повороты деталей в вертикальной и горизонтальной плоскостях. Благодаря этому тележка хорошо проходит кривые и переломы профиля пути.

Шестиосные вагоны магистрального и промышленного транспорта ( $p=216$  кН) оборудованы тележками УВЗ-9М, масса которых составляет 7,4 т, статический прогиб рессорного комплекта — около 50 мм, а конструкционная скорость на путях МПС — до 120 км/ч. Для вагонов промтранспорта с осевыми нагрузками 245 и 295 кН разработаны соответственно тележки УВЗ-11А и УВЗ-11, имеющие укороченную базу, что улучшает прохождение кривых. Недостатками же во всех трех случаях являются: отсутствие унификации с литыми деталями двухосных тележек, повышенная сложность технического обслуживания и большая металлоемкость.

Четырехосная тележка — это две стандартные двухосные, сочлененные между собой специальной соединительной балкой (рис. 88), изготовленной в виде стальной отливки или путем сварки предварительно отштампованных элементов (штампо-сварная). В нижней части по концам она имеет пятники и скользуны для опоры на тележки, а сверху посредине — подпятник и скользуны для сочленения с кузовом вагона.

База четырехосных тележек (расстояние между осями, проходящими через подпятники двухосных) составляет 3010 мм, а кон-

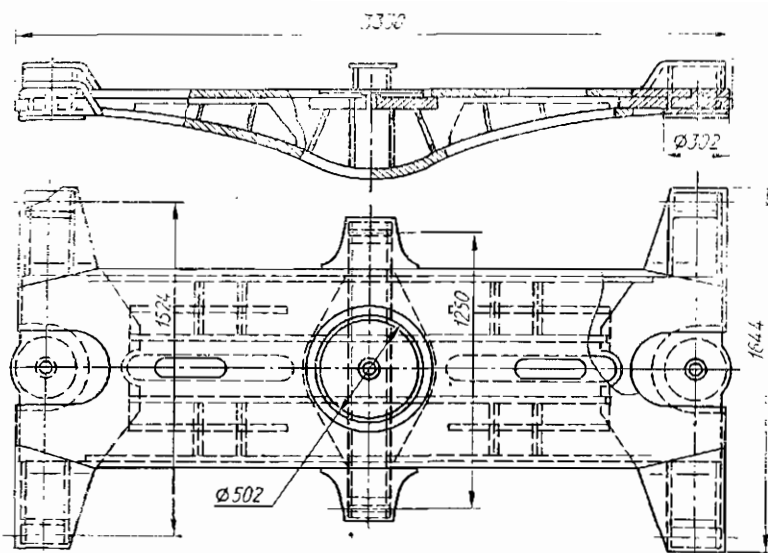


Рис. 88. Соединительная балка четырехосной тележки.

струкционная скорость — 120 км/ч. Эксплуатационные их качества лучше, чем у двух- или трехосных: относительный уровень динамических сил и ускорений, действующих на вагон, понижается.

### Контрольные вопросы

1. Как устроены колесные пары вагонов?
2. В чем заключаются преимущества роликовых букс перед буксами с подшипниками скольжения?
3. Что такое гибкость, жесткость и статический прогиб рессорного подвешивания?
4. Для чего предназначен и как работает гаситель колебаний?
5. Из каких деталей состоит двухосная тележка?
6. Как передаются нагрузки в трехосных тележках?

## Глава 21. РАМЫ И КУЗОВА ВАГОНОВ

### § 67. Общие сведения

Кузов вагона предназначен для размещения грузов, обеспечения их сохранности при перевозке, создания условий для механизированной погрузки-выгрузки с минимальными затратами труда и времени на выполнение данных операций.

Нижняя часть кузова, обеспечивающая восприятие как вертикальных нагрузок, так и продольных сил тяги или удара, называется рамой вагона. Думпкары имеют две таких рамы — верхнюю (опрокидывающуюся) и нижнюю (неподвижную относительно тележек).

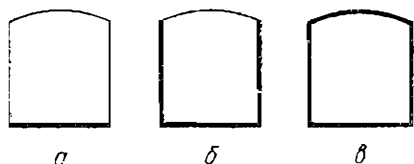


Рис. 89. Типы вагонных кузовов.

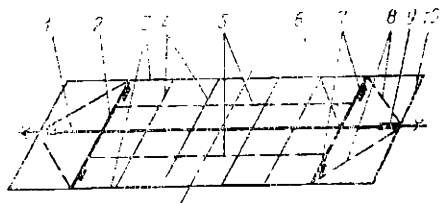


Рис. 90. Схема рамы вагона.

Для производства погрузочно-разгрузочных операций в состав кузова при необходимости включаются соответствующие механизмы: для открытия крышки (некоторые крытые вагоны), опрокидывания кузова (думпкары), подъема крышек разгрузочных люков (хопперы). Эти механизмы могут приводиться в действие сжатым воздухом, электродвигателями или вручную.

С точки зрения участия рам и кузовов в восприятии нагрузок различают три типа конструкций кузовов (рис. 89):

- с несущими рамами (а), когда другие элементы не получают вертикальных нагрузок (например, платформы);
- с несущими рамами и боковыми стенами (б) — цельнометаллические открытые хопперы, думпкары, полувагоны и др.;
- цельнонесущие кузова (в), когда все детали кузова испытывают нагрузки (цельнометаллические крытые вагоны, цементовозы).

Чем больше элементов кузова включается в восприятие нагрузок, тем легче и проще конструкция рамы, тем меньше масса тары. Поэтому современные вагоны изготовляют, как правило, цельнометаллическими из тонкостенных профилей. Соединение деталей рам и кузовов производится электросваркой. Такие кузова, как и с несущими стенами, характеризуются повышенной прочностью и надежностью при одновременном снижении их металлоемкости.

## § 68. Рамы вагонов

Конструктивно типовая рама представляет собой систему связанных между собой перекрестных стальных балок (рис. 90): главными являются хребтовая 1 и две шкворневых 2. Первая из них предназначена для восприятия вертикальных нагрузок, а также усилий при соударениях вагонов, тяге или торможении поезда. Но ее концам располагают детали автосцепных устройств 9. Продольные силы могут достигать больших величин — до 2450 кН, поэтому балка должна обладать высокой прочностью и жесткостью.

На металлургических заводах прокатывают специальный остобразный профиль высотой 310 мм и толщиной полок до 16 мм (вагонный зет).

Хребтовые балки большинства вагонов изготовляют из двух таких зетов путем сварки встык их верхних полок, а для несущих рам — из стольких же двутавров, размещенных друг возле друга.

Шкворневая балка, имеющая два скользуна 7, обеспечивает со-  
единение кузова вагона с тележкой и передачу на нее всех нагруз-  
зок. В месте соединения этой балки с хребтовой снизу рамы  
крепится пятник 6, который своей нижней поверхностью опирает-  
ся на деталь тележки — подпятник. В центре указанного пятни-  
ка есть отверстие для прохождения шкворня (отсюда и название  
балки).

При прохождении кривых участков пути, от воздействия ветра  
или по другим причинам кузов может «переваливаться». Тогда  
скользуны рамы опираются на скользуны тележки и не позволяют  
ему опрокинуться. Если перевалки нет, между этими скользунами  
должен быть зазор, что обеспечивает свободный поворот тележки  
относительно кузова. Когда зазор, величина которого регламенти-  
руется инструкциями, не соответствует норме, его регулируют бу-  
тем добавления или уменьшения количества стальных подкладок  
под крышками скользунов тележки.

Шкворневая балка имеет прямоугольное поперечное сечение,  
состоящее из двух вертикальных и двух горизонтальных стальных  
листов, сваренных между собой.

Боковые продольные балки 3 (нижние обвязки кузова) в основ-  
ном выполняют из стальных профилей — швеллера, уголка, дву-  
тавра. Между собой их связывают поперечными балками 4.

Концевые балки 10 для вагонов старой постройки изготовля-  
лись очень прочными, ибо здесь устанавливали ударные прибо-  
ры — буфера. ныне же, после перехода на автосцепку, они сняты.  
концевые балки стали облегченными, но иногда их по-прежнему  
называют буферными брусками.

Часть рам, кроме указанных конструктивных элементов, обо-  
рудуется поддерживающими балками 5, которые особенно необхо-  
димы при перевозке крупнокузовых тяжелых грузов или при пер-  
емещении по полу вагона автопогрузчиков. Рамы могут также  
укрепляться раскосами 8 для лучшего восприятия сил ударов при  
мачеврах.

## § 69. Кузова вагонов

Если ходовые части и в известной мере рамы вагонов унифици-  
рованы, то кузова отличаются разнообразием конструкций. Имен-  
но данное обстоятельство определяет тип вагона и его основные  
технико-экономические параметры.

Кузова могут быть крытыми (к примеру, вагоны под зерно, це-  
ментовозы), открытыми (думпкары, полувагоны), без боковых  
стен (платформы), а также в виде котлов (цистерны) и ковшей  
(шлаковозы). О ряде других отличий речь пойдет в последующих  
главах.

При всем своем разнообразии большинство кузовов имеют бо-  
ковые и торцовые (лобовые) стены, крышу и днище. Боковая сте-  
на — это в виде жесткой сварной конструкции каркас из стоек,  
верхней и нижней обвязок (последняя является боковой продоль-

ной балкой рамы). К каркасу крепится обшивка. Если она стальная, вагон называют цельнометаллическим. Ее можно изготавливать также из дерева и других материалов.

Каркас крыши выполняют из поперечных дуг и продольных элементов жесткости. Если в крыше предусмотрены открывающиеся загрузочные люки, она оборудуется трапом (помостом) с шероховатой поверхностью. Вагон также имеет лестницы для подъема наверх. Обшивка крыши обычно металлическая или из пластика.

Днище вагона проектируют плоским либо состоящим из нескольких наклонных элементов. Если перевозится сыпучий материал и предусмотрена нижняя выгрузка, наклонные днища более целесообразны, так как обеспечивают полное высыпание груза. В днище, кроме того, могут располагаться разгрузочные устройства.

Кузова вагонов должны обладать высокой прочностью не только в движении, но и при погрузочных работах, когда используются мощные механизмы, а груз будет крупнокузовым и падать со значительной высоты. С другой стороны, кузова надо проектировать по возможности легче, что обеспечит низкий коэффициент тары и повышение производительности вагона.

Большинство вагонов имеет кузова из низколегированной стали 09Г2 (ГОСТ 19281—73). В сравнении с углеродистой она прочнее на 25%, отличается хорошей коррозионной стойкостью, легко штампуется и сваривается. В настоящее время внедряется новая конструкционная сталь 10ХНД11, которая по всем показателям равносильна или превышает лучшие мировые образцы.

При изготовлении кузовов и рам вагонов в порядке эксперимента используется также алюминий-магний-марганцевый сплав марки АМг-6, который, обладая высокой прочностью, в три раза легче стали, не подвержен коррозии, хорошо сваривается в среде инертного газа аргона, устойчив к вибрационным нагрузкам. Широкое внедрение таких сплавов сдерживается пока сравнительно высокой их стоимостью.

## **Контрольные вопросы**

1. Из каких элементов состоит рама вагона?
2. Какие детали предусмотрены для опирания рамы на тележки?
3. Как устроен кузов вагона, из какого материала он изготовлен?

## **Глава 22. УДАРНО-ТЯГОВЫЕ ПРИБОРЫ**

### **§ 70. Назначение и классификация**

Ударно-тяговые приборы предназначены для соединения вагонов между собой, удержания их на определенном расстоянии друг от друга, а также для амортизации действующих здесь продольных тяговых и ударных усилий. Эти приборы могут быть *объединенными и раздельными*. Первые воспринимают как силу растяжения

(тяги), так и сжатия поезда (удара). К ним относится автосцепное устройство, применяемое на подвижном составе промтранспорта и грузовых вагонов магистральных дорог.

Раздельные приборы воспринимают либо тягу, либо удар. Так, при ручной сцепке сжатие приходится на специальные амортизаторы (буфера), а растяжение — на крюковые сцепки. Буфера сохранены и на пассажирских вагонах при наличии автосцепки, но здесь они выполняют функции ликвидации зазоров между двумя вагонами.

По своей конструкции ударно-тяговые приборы могут быть *автоматическими* или *ручными*. В нашей стране весь подвижной состав оборудован только автосцепкой, в зарубежных же странах зачастую используются и ручные устройства. Главные преимущества автосцепки заключаются в высокой ее прочности (что позволяет увеличивать массу поезда и применять мощные локомотивы), а также в повышении производительности маневровых операций, ликвидации штата специальных работников — сцепщиков и скрутчиков вагонов.

Различают автосцепки *жесткие*, *нежесткие* и *полужесткие*. В первом случае (рис. 91, а) соединение автосцепок между собой исключает их взаимные перемещения по вертикали, во втором же — такие передвижения возможны (рис. 91, б).

Полужесткие автосцепки при малых смещениях работают как нежесткие, а после некоторого передвижения упираются в специальные выступы и действуют дальше как жесткие.

Автосцепки, изображенные на рис. 91, б, проще по конструкции и в аварийных ситуациях при больших взаимных перемещениях расцепляются, что предохраняет другие вагоны поезда от схода с рельсов и повреждения.

Жесткие автосцепки имеют свои преимущества — меньший износ контактирующих поверхностей, возможность одновременно со сцеплением единиц подвижного состава соединять пневматические и электрические межвагонные коммуникации.

В нашей стране на магистральном и промышленном транспорте приняты нежесткие автосцепки, а полужесткие устанавливаются в последние годы только на восьмисосных и других вагонах повышенной длины.

По конструкции различают автосцепки с *двухзубым контуром* (СА-3 и др.), *щечкодного* типа (на специализированном подвижном составе предприятий) и *когтевые*.

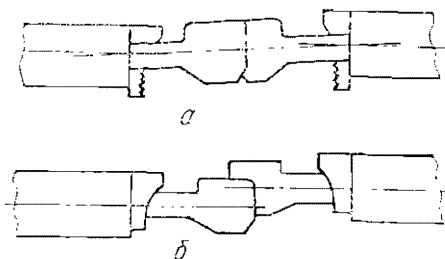


Рис. 91. Схемы жесткой (а) и нежесткой (б) автосцепок.

## § 71. Автосцепка СА-3

Данная автосцепка, тип которой является основным для вагонов и локомотивов, обеспечивает выполнение следующих рабочих процессов:

1) автоматическое соединение вагонов при расстоянии по горизонтали между осями двух автосцепок не более 175 мм. Эта величина называется захватом сцепления. Если указанный размер больше 175 мм, автосцепки пройдут друг мимо друга; в вертикальной плоскости сцепление обеспечивается при взаимном смещении их осей до 140 мм. Данная величина носит термин «разность высот центров». С учетом возможности взаимных перемещений автосцепок по вертикали при движении поезда такая разность правилами технической эксплуатации допускается не более 100 мм;

2) расцепление путем поворота рукоятки привода одного из соединительных устройств на  $90^\circ$  с последующим ее опусканием в нормальное положение. При этом механизм остается в расцепленной позиции вплоть до разведения вагонов;

3) восстановление сцепления ошибочно расцепленных устройств без разведения вагонов, для чего достаточно ударить рукояткой молотка или другим предметом через специальное отверстие в нижней части корпуса автосцепки;

4) переход в позицию готовности к очередному сцеплению (осуществляется автоматически сразу же после разведения вагонов);

5) маневровое положение механизма, или, как говорят, «на бугер» (обеспечивается путем поворота рукоятки привода и фиксации ее в повернутом состоянии). При этом вагоны не сцепляются, что нередко позволяет ускорить маневровые операции.

Конструктивно автосцепка СА-3 имеет корпус и механизм. Корпус (рис. 92) представляет собой сложную стальную отливку. Ее передняя широкая часть, называемая головой, состоит из большого и малого зубьев — 1 и 4, между которыми образуется пространство — зев 2. В верхней части корпуса есть упор 5 для передачи на вагон ударных усилий (если неисправен поглощающий аппарат), а внутри головы — карман для размещения деталей автосцепки.

В зев 2 выступает рабочая часть 3 детали «замок». Поверхности зубьев и этой детали составляют стандартный контур зацепления (ГОСТ 21447—75).

На рисунке он показан жирными линиями. Если два соединительных устройства имеют одинаковый такой контур, они, следовательно, — взаимосцепляемы.

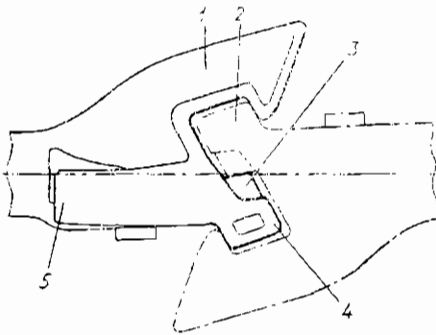


Рис. 92. Корпус автосцепки СА-3.

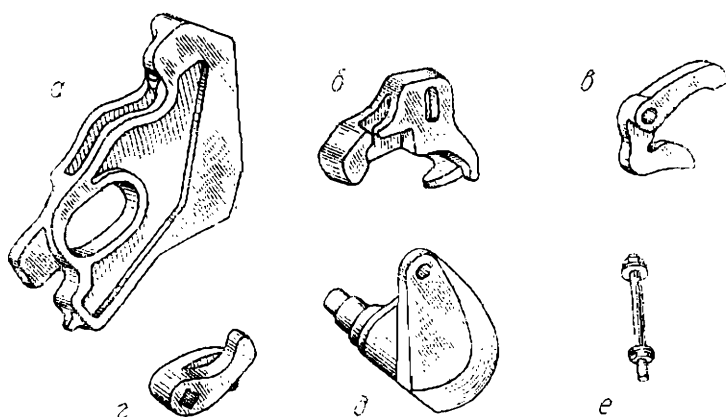


Рис. 93. Детали механизма автосцепки СА-3:

а — замок; б — замкодержатель; в — предохранитель; г, д — подъемник и его палик; е — болт.

Малые зубья другой автосцепки (на рис. 92 она изображена штрихпунктиром в плане), войдя в зев соседней, образуют свободное пространство, которое заполняют выступающие из корпуса замки, чем и достигается сцепление. Для разъединения устройства достаточно вывести из контура хотя бы один замок, убрав его внутрь корпуса.

Механизм автосцепки СА-3 (рис. 93) состоит из пяти деталей: замка, замкодержателя, предохранителя, подъемника и его палик, который крепится болтом с гайкой.

При сцепленном положении (рис. 94, слева) передняя часть 4 замка выступает в зев. Если во время движения произойдет «подергивание» поезда и соединительные устройства взаимно переме-

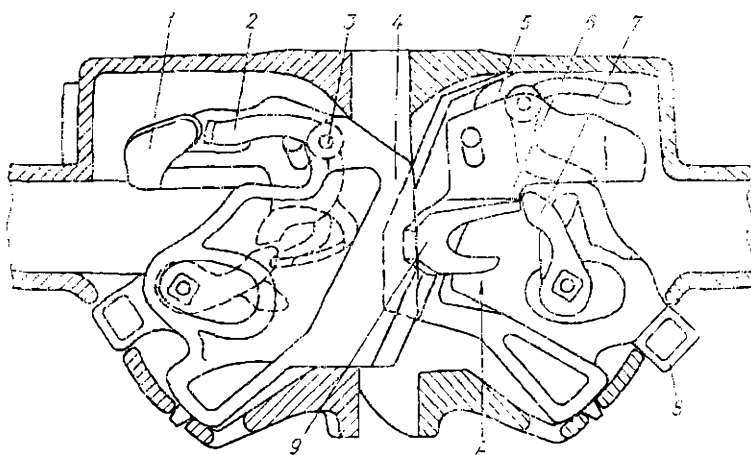


Рис. 94. Положение деталей механизма в сцепленном (слева) и расцепленном (справа) состояниях.

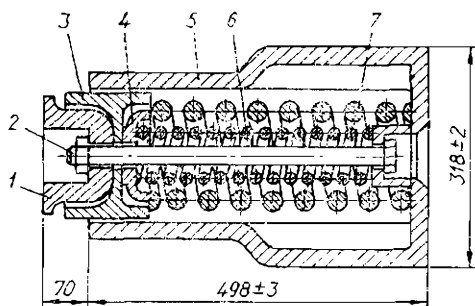
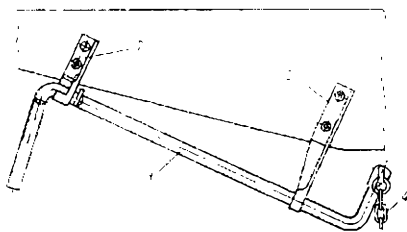


Рис. 95. Расцепной привод.

Рис. 96. Поглощающий аппарат пружинно-фрикционного типа.

тятся по вертикали, то возникшие ускорения могут вызвать утапливание замка внутрь корпуса и саморасцеп вагонов. Чтобы не допустить этого, верхнее плечо предохранителя 2, навешенного на шип замка 3, упирается в заднюю часть (противовес) 1 замкодержателя.

В расцепленном положении (см. рис. 94, справа) рабочая часть 5 замка уведена внутрь корпуса и не препятствует разведению вагонов. От выпадания в зев замок предохраняется замкодержателем. Его расцепной угол 6 не позволяет упасть подъемнику 7, который и обеспечивает замку выключенное состояние. О расцеплении свидетельствует выступающий из корпуса в задней части сигнальный отросток 8 замка.

Для соединения ошибочно расцепленных автосцепок следует ударить в направлении стрелки А по замкодержателю, который приподымается вверх, угол 6 перестанет удерживать подъемник и последний вместе с замком повернется в нужную позицию.

При разведении вагонов передняя часть 9 замкодержателя выйдет в зев, что позволит подъемнику повернуться, а замку перейти в рабочее положение готовности к очередному сцеплению.

Для разъединения изучаемых устройств служит расцепной привод (рис. 95), состоящий из рычага 1, кронштейна 2, державки 3 и цепочки 4, связанной с валиком подъемника. Чтобы произвести расцепление, надо приподнять и повернуть ручку рычага на  $90^\circ$ , после чего опустить ее в нормальное положение. Если повернутую эту ручку сдвинуть к центру вагона и положить на специальную полочку кронштейна, механизм автосцепки будет поставлен в маневровое положение.

В комплект ударно-тяговых устройств входят также ударно-центрирующий прибор, поглощающий аппарат и упругое устройство, передающее усилия на раму вагона.

## § 72. Поглощающие аппараты

Поглощающий аппарат — специальное устройство, предназначенное для амортизации ударно-тяговых усилий, действующих на вагон. Во время сжатия этого аппарата значительная часть энер-

гин должна из механической превратиться в другие виды (например, тепловую), что приведет к сравнительно небольшой передаче усилий конструкции вагона. Следовательно, чем лучше работает данное устройство, тем меньше энергии воспринимается рамой и кузовом, тем быстрее можно производить маневровые операции.

Основными характеристиками рассматриваемых аппаратов являются *энергоёмкость* (эффективность) и *коэффициент необратимого поглощения энергии*. Под первым понятием подразумевается величина кинетической энергии удара, получаемая при полном сжатии. Для четырехсхосного вагона она должна составлять около 60 кДж, а для шести- или восьмиосного — более 110 кДж.

Названный выше коэффициент есть отношение энергии, преобразованной из механической в другой вид, к общей энергии, воспринимаемой аппаратом. Этот коэффициент должен быть не менее 0,6.

На вагонах промышленного транспорта и на грузовых магистральных широко распространен п р у ж и н н о - ф р и к ц и о н н ы й поглощающий аппарат (рис. 96), состоящий из корпуса 5, внутренняя поверхность которого выполнена в виде сужающегося шестигранника. Вдоль последнего могут перемещаться три фрикционных клина 3, причем каждый из них трется о две грани.

Нажимной конус 1 имеет скошенные внутренние поверхности, которыми он упирается в поверхности клиньев и стремится придать им к корпусу аппарата. Сзади клиньев расположены нажимная шайба 4 и пружины: 6 — внутренняя и 7 — наружная. Стяжной болт 2 с гайкой удерживает все детали в собранном виде.

При ударе конус 1 прижимает клинья к внутренним граням корпуса и утапливается внутрь. Давление от клиньев передается через шайбу на пружинную часть аппарата. Между конусом, клиньями и корпусом действуют силы трения, которые, препятствуя взаимным перемещениям этих деталей, преобразуют механическую энергию удара в тепловую. Одновременно сжимается пружина и обеспечивает затем отдачу аппарата (обратный ход).

Установленный между упорными угольниками хребтовой балки (см. рис. 90) поглощающий аппарат имеет предварительную затяжку с усилием 60—80 кН, т. е. его необходимо сжать перед установкой на вагон.

Зависимость между силой и ходом аппарата приближенно определяется следующими формулами:

а) при сжатии

$$T_c = \Psi_c c(x_0 + x), \quad (36)$$

б) при отдаче

$$T_0 = \Psi_0 c(x_0 + x), \quad (37)$$

где  $T_c$ ,  $T_0$  — силы сжатия и отдачи;

$\Psi_c$ ,  $\Psi_0$  — соответственно передаточные коэффициенты;

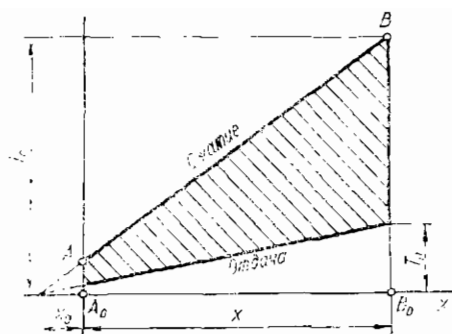


Рис. 97. Силовая характеристика поглощающего аппарата.

$c$  — жесткость пружины;  
 $x_0$  — начальная затяжка;  
 $x$  — ход аппарата.

Указанные коэффициенты зависят от углов наклона клиньев и значительно отличаются друг от друга: если  $\Psi_c = 4-7$ , то  $\Psi_0 = 0,6-0,8$ . В связи с этим угол наклона линии сжатия (рис. 97) намного больше, чем отдачи. Энергоемкость аппарата представится как площадь силовой характеристики сжатия, т. е. трапеции  $A_0ABV_0$ .

На рисунке точки  $A$  и  $B$  соответствуют усилиям предварительной затяжки и полного сжатия аппарата. Определяются они по формуле (36), но в первом случае при  $x=0$ , а во втором — вместо  $x$  нужно поставить полный ход аппарата. Тогда его энергоемкость

$$\Theta = \frac{A_0A + B_0B}{2} x = \frac{1}{2} \Psi_0 c (2x_0 + x)x. \quad (38)$$

Заштрихованная площадь (см. рис. 97) соответствует необратимой поглощенной энергии.

Распространенным является поглощающий аппарат Ш-1-Т\*, имеющий при ходе 70 мм энергоемкость до 40 кДж (для большегрузных вагонов этого недостаточно). Модернизированное устройство Ш-1-Тм ( $x=70$  мм,  $\Theta=50$  кДж) снабжено более жесткими пружинами с поверхностным упрочнением (зацеволиванием).

Для большегрузных вагонов предназначается аппарат Ш-2-В, характеризующийся увеличенным ходом (90—110 мм) и соответственно повышенной энергоемкостью (до 60 кДж).

Созданы также конструкции гидropружинных поглощающих устройств, где рассеивание энергии достигается за счет перетекания рабочей жидкости через узкие каналы, а обратный ход обеспечивают пружины. В гидрогазовых аппаратах такой ход становится возможным благодаря энергии газа, сжатого до высокого давления в специальной камере. Преимущества тех и других поглощающих устройств — в их высоких амортизационных качествах. Но эти устройства отличаются значительной стоимостью, сложностью в обслуживании и ремонте.

### § 73. Автосцепка щеколдного типа

На некоторых технологических вагонах промышленного транспорта применяется упрощенная автосцепка щеколдного типа (рис. 98). С одной стороны кузова шарнирно крепится щеколда

\* Ш — шестигранный, Т — термообработанный.

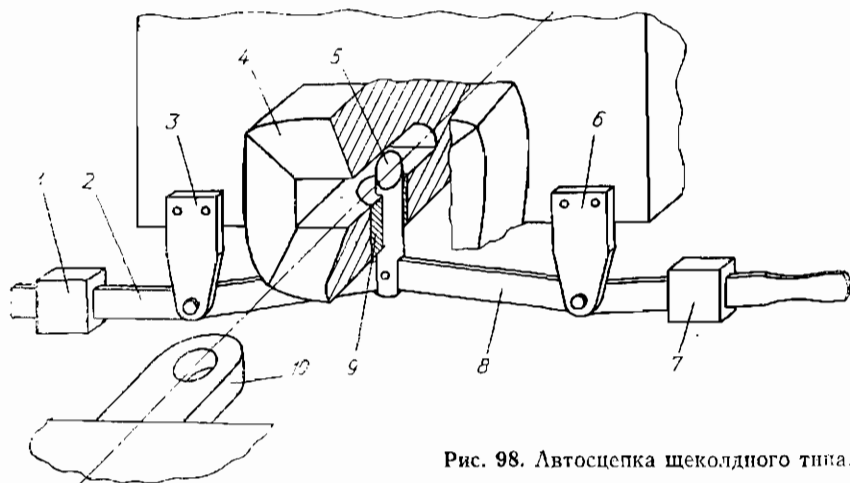


Рис. 98. Автосцепка щеколдного типа.

10, а с другой — замыкающее устройство, корпус которого (4) отливается заодно с рамой (лафетом) вагона и имеет щель для прохода щеколды со скошенным замыкающим пальцем 5, соединенным в нижней своей части с расцепными рычагами 2 и 8, закрепленными в державках 3 и 6. При сцеплении щеколда входит в замыкающее устройство, отжимает палец вниз, поворачивая рычаги. Затем палец направляется в отверстие щеколды, и сцепление обеспечено.

Для улучшения движения пальца в корпус запрессована втулка 9, а рычаги имеют грузы 1 и 7. Чтобы произвести расцепление, надо поднять один из рычагов и удерживать его до разведения вагонов.

Сцепка не имеет никаких амортизационных приборов, что ограничивает скорость соударений и ухудшает динамику поезда.

Для сцепления с локомотивами, оборудованными устройствами СА-3, применяют специальные платформы, у которых с одной стороны установлена щеколдная автосцепка, а с другой — типа СА-3.

## Контрольные вопросы

1. Чем отличается жесткая автосцепка от нежесткой? К какому типу относится модель СА-3?
2. Какие рабочие процессы выполняет автосцепка СА-3?
3. Как устроены корпус и механизм автосцепки СА-3?
4. Как сцепить ошибочно расцепленную автосцепку без разведения вагонов?
5. Для чего служит расцепной привод и как им пользоваться?
6. Каково назначение поглощающих аппаратов и что такое их энергоемкость?
7. Как устроен поглощающий аппарат?
8. Как построить силовую характеристику поглощающего аппарата?
9. Каким образом происходит сцепление и расцепление устройства щеколдного типа?

## § 74. Крытые вагоны

Универсальные крытые вагоны предназначены для перевозки грузов, требующих защиты от атмосферных осадков. Цельнометаллические четырехосные такие вагоны с уширенными дверными проемами (рис. 99) имеют грузоподъемность 64 т, объем кузова —  $120 \text{ м}^3$ , массу тары — 23 т, длину по осям сцепления (устройства типа СА-3) — 14730 мм. Оборудованы они тележками ЦНИИ-ХЗ-0 и автоматическими тормозами.

Все балки рамы вагона (см. рис. 90), как и большинство деталей кузова, сделаны из стали 09Г2. Настил пола — из досок толщиной 55 мм. Обшива боковых и торцовых стен, а также крыши выполнена из стальных листов толщиной 1,5—3 мм.

На обшиве выштампованы гофры, которые повышают жесткость и прочность кузова. С внутренней стороны стены вагона покрыты фанерой толщиной 10 мм, а крыша — деревоволокнистыми плитами, чем обеспечивается утепление кузова и возможность перевозки даже людей (при острой необходимости).

Вагон имеет загрузочные люки (четыре — в крыше, по два — в каждой боковой стене) и четыре самоуплотняющиеся двери. Все люки оборудованы пружинными защелками, которые можно открыть только изнутри вагона. Дверь, переменяющаяся в плоскости боковой стены, подвешивается сверху с помощью двух роликов на специальной направляющей — дверном рельсе.

Обе открытые двери образуют проем  $3825 \times 2034$  мм, что позволяет грузить крупногабаритную продукцию. Если в вагоне находится сыпучий материал, то силами распора двери плотно прижимаются по всему периметру к деталям боковой стены — происходит их «самоуплотнение». Но тогда для открытия дверей потребовались бы значительные усилия. Поэтому в одной из них на каждой стороне вагона предусмотрен небольшой люк, через который предварительно удаляется часть сыпучего материала. Запор данного люка заблокирован с основным дверным запором.

Операции со штучной продукцией можно производить с помощью заезжающего внутрь автопогрузчика (нагрузка на его колеса не должна превышать 22 кН).

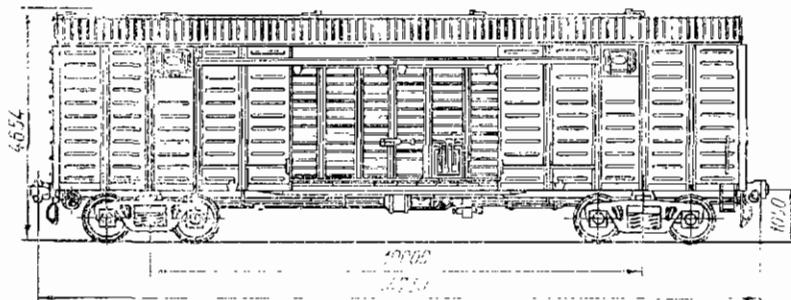


Рис. 99. Крытый цельнометаллический вагон

В эксплуатации находится также большое количество крытых вагонов постройки прежних лет с деревянной обшивкой кузова, имеющих по одной боковой двери с каждой его стороны.

Общий недостаток универсальных крытых вагонов — сложность механизации погрузочно-выгрузочных работ.

## § 75. Полувагоны

Универсальные полувагоны — наиболее распространенный вид подвижного состава. В них перевозится уголь, руда и ряд других массовых сыпучих грузов, не требующих защиты от атмосферных осадков, а также машины, станки, оборудование, металлопродукция, лесоматериалы и др.

На железных дорогах эксплуатируются четырех-, шести- и восьмиосные полувагоны с деревянной и металлической обшивкой кузова. Четырехосный (рис. 100) имеет грузоподъемность 65 т, тару 22 т, объем кузова 73 м<sup>3</sup>, длину по осям сцепления 13920 мм.

Особенность рамы полувагона заключается в том, что его хребтовая, боковые и поперечные балки образуют прямоугольные отверстия (люки) размером в свету 1327×1540 мм, оборудованные крышками, которые шарнирно приклеплены к хребтовой балке и закрыты запирающими устройствами, расположенными на нижних обвязках боковых стен.

Таким образом, весь пол состоит из четырнадцати открывающихся крышек люков, что позволяет разгружать сыпучие материалы на эстакадах. После разгрузки крышки необходимо закрыть на задвиги и застопорить специальными секторами.

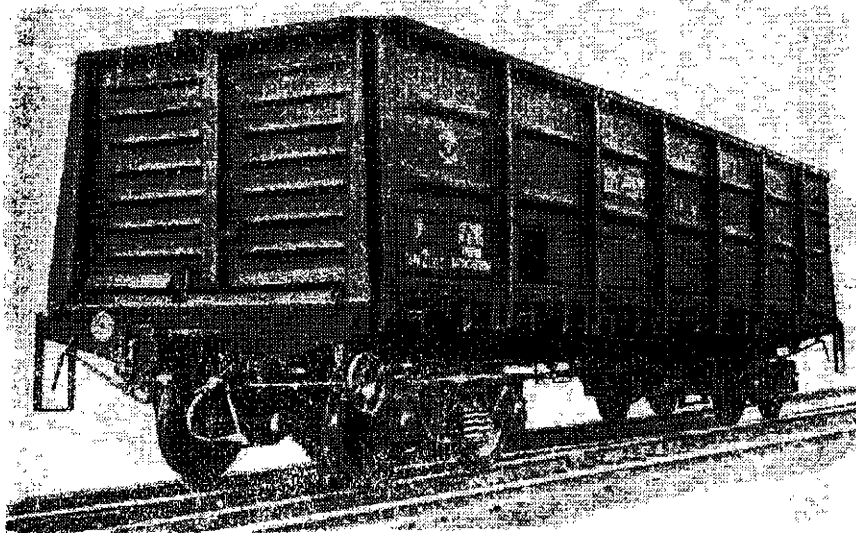


Рис. 100. Четырехосный полувагон.

Кузов состоит из двух мощных боковых стен с обшивкой из стального листа толщиной 4—5 мм. По торцам полувагона устанавливаются двухстворчатые двери, открывающиеся вовнутрь. Они могут быть использованы для загрузки-выгрузки колесных машин, а также позволяют перевозить продукцию, не помещающуюся по длине кузова. Закрытые торцовые двери в верхней части закрепляются специальным запором, а снизу плотно прижимаются к дверному порогу. Для привязки штучных грузов внутри кузова предусмотрены скобы и кольца.

Разгрузка сыпучих грузов через крышки люков требует применения ручного труда для их открытия и закрытия. В местах массовой выгрузки используются вагоноопрокидыватели, обеспечивающие полную механизацию работ.

Восьмиосный полувагон имеет грузоподъемность 125 т, объем кузова 137,5 м<sup>3</sup>, длину по осям сцепления 20240 мм. В полу расположены 22 крышки разгрузочных люков. По своим технико-экономическим показателям эти полувагоны имеют некоторые преимущества перед четырехосными, поэтому предусматривается увеличение их выпуска.

Недостаток полувагонов — сравнительно низкая жесткость и прочность крышек люков. В процессе эксплуатации они деформируются, что приводит к просыпанию груза мелких фракций. Часть полувагонов строят с глухим днищем и эксплуатируют их в замкнутых маршрутах с разгрузкой на вагоноопрокидывателях.

## § 76. Платформы и транспортеры

*Платформы* предназначены для перевозок контейнеров, лесоматериалов, металлопродукции, машин, оборудования и отдельных сыпучих грузов (камень, песок и др.).

Четырехосная платформа грузоподъемностью 66 т (рис. 101) имеет площадь пола 36,8 м<sup>2</sup>, массу тары 21 т, длину по осям сцепления 14620 мм. Цельнонесущая рама изготавливается из мощных двутавров, которые по концам подрезаются для понижения уровня пола и уменьшения массы тары.

Два центральных двутавра образуют хребтовую балку, а два боковых — продольные балки. Сверху на раму настилается деревянный пол из досок толщиной 55 мм. Такая рама допускает работу автопогрузчиков и перевозку сосредоточенных грузов. Например, можно транспортировать груз массой 60 т, имеющий длину опорной поверхности более 4,3 м.

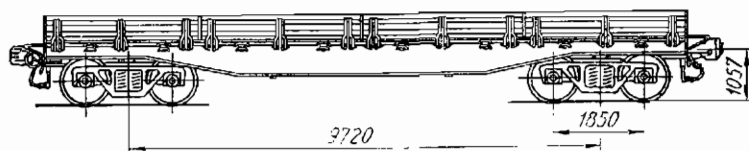


Рис. 101. Платформа четырехосная универсальная.

Кузов платформы состоит из восьми продольных и двух поперечных бортов. Первые из них (высотой 500 мм) выполнены из стального прокатного профиля толщиной 3 мм. Торцовые борта (высотой 400 мм), упирающиеся при открытии на специальные угольники, приваренные к раме, являются как бы продолжением пола.

Шарнирные петли и запоры бортов платформы объединены в один узел (рис. 102). Петля 1 и державка 2, приваренные соответственно к борту и продольной балке рамы, имеют отверстия для валика 3, вокруг которого происходит поворот борта при его открытии или закрытии. Клин запора 5, также одетый своим овальным отверстием на валик 3, в закрытом положении опущен вниз; его нижняя часть прижимается к упору 4 державки, а верхняя — удерживает борт от открывания. Если по клину ударить снизу молотком, он приподнимется и повернется относительно валика в наружную сторону платформы. Борт при этом открывается.

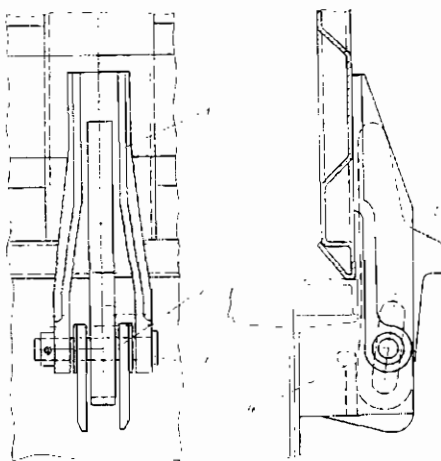


Рис. 102. Объединенное запорное устройство борта платформы.

Перевозка грузов (если необходимо) может производиться при открытых бортах платформы. В данном случае во избежание ударов о раму их следует скрепить проволокой, пропущенной под вагоном.

Кроме универсальных платформ получили также широкое распространение специальные, в числе которых — для перевозки большегрузных контейнеров. Такая четырехосная платформа грузоподъемностью 60 т (длина рамы 18400 мм) не имеет пола и бортов. Она оборудована типовыми устройствами для установки и крепления транспортируемого груза.

В связи с широким развитием контейнерных перевозок указанная платформа выпускается крупными сериями; ее конструктивную скорость предполагается увеличить до 140 км/ч.

**Транспортеры** — специальные вагоны для перевозки крупногабаритного и тяжелого груза, который нельзя доставить на платформе. Их грузоподъемность — от 55 до 480 т, число осей соответственно изменяется от 4 до 32, а длина (сцепной тип) превышает 62,5 м.

В зависимости от рода перевозимой продукции транспортеры имеют различную конструкцию. У большинства их груз располагается на специальной раме, называемой главной балкой. Она может быть с высокой или пониженной погрузочной площадкой, с центральным проемом для размещения груза (колодеобразного типа) и др.

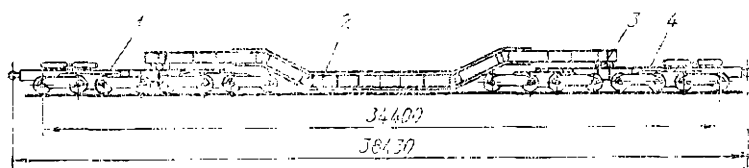


Рис. 103. Транспортёр.

Шестнадцатикосный транспортёр грузоподъёмностью 200 т и с массой тары 116 т (рис. 103) оборудован пониженной главной балкой 2, удерживающейся на двух концевых балках 1 и 4 благодаря специальным сферическим пятникам 3. Каждая из них опирается на две четырёхкосные тележки. На этих же балках размещены ударно-тяговые приборы и тормозные устройства.

Для снижения массы тары часть транспортёров строят без главной балки. Груз в данном случае жёстко крепится к специальным мощным консолям и становится как бы частью всей конструкции.

## § 77. Цистерны

Они предназначены для перевозки жидких грузов, сжиженных газов и распыляющихся под воздействием сжатого воздуха сыпучих материалов. В зависимости от этого различают цистерны общего назначения (для широкого ассортимента нефтепродуктов) и специальные (для определенных жидкостей, газов и пр.).

Четырёхкосная цистерна грузоподъёмностью 60 т для перевозки бензина и светлых нефтепродуктов показана на рис. 104. Главной её частью является котёл (72 м³), состоящий из цилиндрической части 4 и двух сферических днищ 5. Сверху он имеет колпак 2 для заливки груза и предохранительно-впускной клапан 3 для предотвращения образования внутри цистерны повышенного или пониженного давления газов. В нижней части котла установлен универсальный сливной прибор, который открывают, вращая штурвал, расположенный в колпаке. Котёл крепится к раме цистерны с

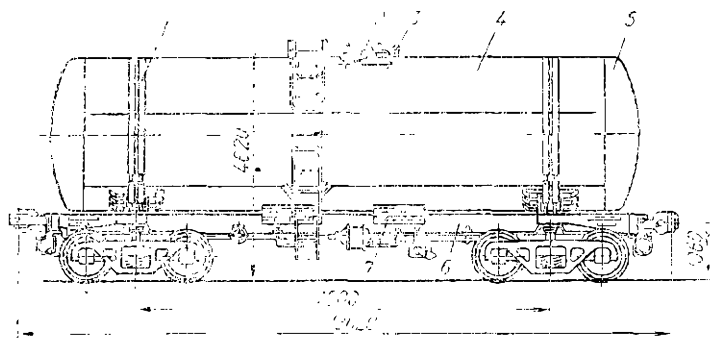


Рис. 104. Цистерна четырёхкосная для светлых нефтепродуктов.

помощью стяжных хомутов 1 и болтовых соединений 7. Поскольку же он сам по себе обладает большой жесткостью, рама 6 выполняется облегченной.

Цистерны, не имеющие рамы по длине базы (большегрузные восьмиосные), называют безрамными. Они характеризуются грузоподъемностью 120 т, объемом котла 140 м<sup>3</sup>, массой тары 48 т, длиной по осям сцепления 21120 мм. Котлы изготавливаются из стали 09Г2С толщиной в нижней части 12 мм, а в верхней — 9 мм. Для ускорения погрузочно-разгрузочных операций служат два колпачка и столько же сливных приборов.

Применение большегрузных цистерн позволяет значительно повысить эффективность перевозочного процесса. Восьмиосные такие вагоны в морозоустойчивом исполнении спроектированы и строятся для транспортировки нефтепродуктов на трассах Байкало-Амурской магистрали.

В цистернах общего назначения и специальных, как правило, — одинаковая рама. Различие их заключается в конструкции и объеме котла, используемом для него материале, наличии тех или иных приборов и оборудования.

Цистерны для высоковязких продуктов имеют в нижней части котла двойные стенки, образующие наружную обогревательную рубашку, куда перед выгрузкой подается пар; транспортируемое вещество нагревается и вязкость его понижается.

Цистерны для перевозки кислот оборудованы верхним наливом-сливом. Котлы изготавливаются из материала, не поддающегося агрессивному воздействию груза. Для улучшенной серной кислоты их делают двухслойными: внутри — качественная нержавеющая сталь, а снаружи — углеродистая. Внутренняя поверхность котла для соляной кислоты покрывается слоем резины (гуммируется).

Цистерны для сжиженного газа отличаются большой толщиной стенок в связи с повышенным его рабочим давлением: 26—32 мм, к примеру, для пропана при 2 МПа. Снаружи котлов в верхней части устраивают специальные тепловые кожухи, защищающие от перегрева прямыми солнечными лучами.

В цистернах для перевозки пищевых продуктов (молока, вина и т. д.) котлы выполнены из нержавеющей стали с наружной тепловой изоляцией, предотвращающей замерзание груза. Емкости для распыляющихся сыпучих материалов (цемента, кальцинированной соды, поливинилхлорида и пр.) имеют внутри систему воздушных лотков и аэроплиток. Для разгрузки в котел подается сжатый воздух при давлении 0,2 МПа; продукт разрыхляется и во взвешенном состоянии «течет» по трубопроводам.

Пневморазгрузка допускает перемещение груза от цистерны к складу на расстояние до 50 м по горизонтали и до 25 м — по вертикали (вверх).

### Контрольные вопросы

1. Как производится разгрузка крытого вагона с самоуплотняющейся дверью?
2. Как устроены четырех- и восьмиосный полувагоны?

3. Почему клиновой лапкой борта платформы в опущенном состоянии удерживает его от откиривания, а в поднятом — нет?
4. Для чего предназначены транспортеры?
5. Как устроена четырехосная цистерна?

## Глава 24. ВАГОНЫ ПРОМЫШЛЕННОГО ТРАНСПОРТА

### § 78. Основные типы и параметры

Широкое распространение на промышленном транспорте получили вагоны с наклонными днищами и нижними разгрузочными люками — *хopper*. Они применяются, в частности, для экономически выгодных перевозок *горячих грузов*, погружаемых при температуре до  $700^{\circ}\text{C}$ : окатышей и агломерата (обогащенной железной руды в виде спеченных шариков либо кусковой массы). Параметры двух моделей таких вагонов приведены в табл. 14. Первый из них (грузоподъемность 65 т) имеет право выхода на пути МПС, а второй (105 т) — не обладает подобным правом (осевая нагрузка 345 кН), но отличается улучшенными технико-экономическими показателями.

В табл. 14 содержатся также параметры других типов вагонов промтранспорта. *Открытый хоппер* для перевозки кокса, имея большой объем кузова ( $120\text{ м}^3$ ) и устройства механизированной разгрузки, отличается высокой эффективностью. Доставка же кокса в универсальных полувагонах приводит к недоиспользованию грузоподъемности ввиду недостаточного их объема ( $72\text{ м}^3$ ) и к повреждению кузовов химически активными веществами. Подобной конструкцией обладают вагоны-хопперы для перевозки торфа, угля и др.

*Крытые хопперы* обеспечивают защиту от атмосферных осадков и успешно применяются для бестарной транспортировки материалов, погрузка которых в универсальные вагоны возможна только в упаковке (цемент, минеральные удобрения, технический углерод, полимерные компоненты и пр.).

*Специальные полувагоны* строят для массовой перевозки отдельных видов грузов, если их неэффективно доставлять в универсальных. Восьмиосный такой полувагон для медной руды имеет мощную глухую (без разгрузочных люков) конструкцию кузова при сравнительно небольшом объеме ( $63,3\text{ м}^3$ ), а четырехосный для технической щепы, наоборот, обладает кузовом повышенного объема ( $135\text{ м}^3$ ), в остальном мало отличаясь от универсального полувагона.

*Специальные платформы* служат для обеспечения либо внутризаводских перевозок, либо массовой доставки однородного сырья. Так, платформы для горячего чушкового чугуна используют на территории металлургических предприятий, а платформы для леса в хлыстах — при транспортировке груза к деревообрабатывающим комбинатам.

Представляет интерес вагон для перевозки апатитового концентрата — единственный пока в стране тип вагона, разгрузка которо-

Таблица 14. Параметры вагонов промтранспорта

Тип вагона	Грузоподъемность, т	Массатары,	Объемкузова, м³	Числоосей, шт.	Длина поосм сцепления, мм	Ширинакузова (наибольшая), мм	Высота (наибольшая) от уровня рельсов, мм	Коэффициенттары	Осевая нагрузка, кН	По-гоша на груз, кН/м
<b>Хоперы:</b>										
— для окатышей	65	23	42	4	12000	3154	3465	0,354	215	69,3
— для агломерата	105	35	70	4	16000	3154	3300	0,333	345	85,8
— для кокса	58	26	120	4	17500	3106	3975	0,448	205	47
— для торфа	58	26	120	4	17500	3186	4500	0,448	205	47
<b>Крытые хоперы:</b>										
— для цемента	67	19	55	4	11920	3270	4180	0,284	210	70,6
— для минеральных удобрений	64	22	73	4	13200	3220	4590	0,343	210	64
Полувагон для медной руды	105	45,8	63,3	8	15500	3141	3100	0,435	185	95,5
<b>Платформы:</b>										
— для горячего чушкового чугуна	110	25	26,2	4	11220	3150	2407	0,245	330	118,7
— для леса в хлыстах	56	29	—	4	25080	3100	4950	0,52	209	32,4
Вагон для апатитового концентрата	60	26,5	48	4	11630	3520	3710	0,413	212	73

го осуществляется на ходу поезда. На участке, где расположены приемные бункеры, установлена специальной конструкции эстакада, через которую пропускаются вагоны. При этом кузова приподнимаются вверх, раскрываются разгрузочные люки, и концентрат высыпается. После схода с эстакады кузов приобретает транспортное положение, и вагон готов к очередной погрузке.

Подвижной состав узкоколейных дорог состоит из аналогичных типов вагонов, но параметры их должны отвечать техническим возможностям этих магистралей. Так, для колеи шириной 1067 мм осевые нагрузки составляют 157—172 кН, для 900 мм — до 78,5 кН и для 750 мм — до 70 кН. Соответственно уменьшены грузоподъемность, объем кузова и линейные параметры.

Вагоны-самосвалы — один из наиболее распространенных типов вагонов промтранспорта. Их модели, параметры и конструкция будут рассмотрены в следующей главе.

### § 79. Вагоны-хопперы открытого типа

Этот вид подвижного состава иногда причисляют к полувагонам. Общий здесь признак — отсутствие крыши. Существенным же различием открытого хоппера являются наклонные днища, что позволяет грузить лишь сыпучие материалы. Кроме того, он должен освобождаться от транспортируемой продукции только через нижние люки; использование вагоноопрокидывателей, как правило, не разрешается.

Хоппер для перевозки окатышей (рис. 105) имеет длину 12 м, грузоподъемность 65 т (при работе на путях МПС — 61 т) и объем

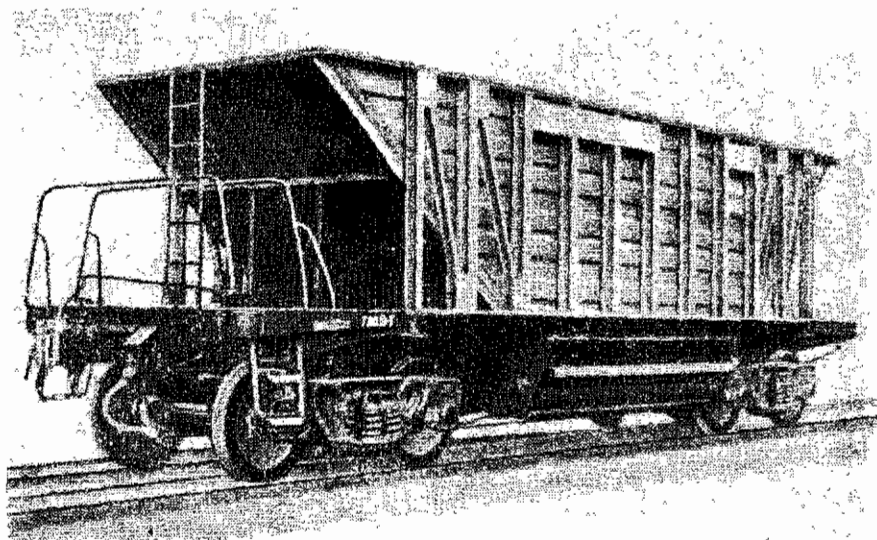


Рис. 105. Хоппер для перевозки окатышей.

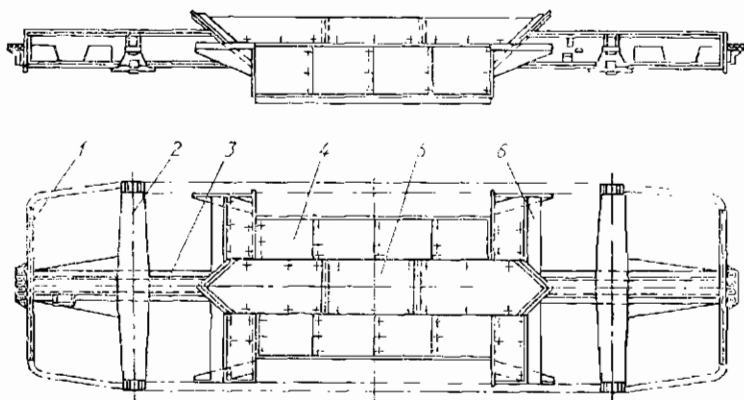


Рис. 106. Рама хоппера.

кузова 42 м<sup>3</sup>. Ходовыми частями служат тележки ЦНИИ-ХЗ—0. Вагон оборудован автосцепкой СА-3, механизмом разгрузки и автоматическим тормозом.

Рама хоппера (рис. 106) состоит из хребтовой балки 3, проходящей вдоль вагона, а также концевых и шкворневых поперечных балок — 1 и 2. Все эти элементы (из стали 09Г2), непосредственно не соприкасающиеся с горячим грузом и не подвергающиеся значительным температурным деформациям, воспринимают основные нагрузки, действующие на вагон. В средней части, где размещается груз, хребтовая балка перекрыта Л-образной штамповкой — горбылем 5, который предохраняет балку от нагревания и обеспечивает высыпание перевозимого материала. Продолжением горбыля служат днища разгрузочных бункеров 4, наклоненные к горизонту под углом 51°.

Бункеры ограничены поперечными балками 6, к которым крепятся днища кузова. Последние, как и горбыль, связаны с рамой болтами, чтобы предотвратить коробление от температурных деформаций. Остальные ее элементы соединены электросваркой.

Кузов (см. рис. 105) состоит из двух вертикальных боковых стенок и двух торцовых днищ, наклоненных под углом 41°. Боковая стенка имеет мощный сварной каркас из одиннадцати стоек, четырех раскосов, верхней и нижней обвязок. Обшивка ее выполнена «плавающей» — набрана из отдельных стальных штампованных полос, которые находятся между стойками и соединяются с ними скобами. Крепление допускает небольшие перемещения обшивки относительно стоек. Под воздействием температуры груза она деформируется (свободно «плавает»), при этом каркас кузова не воспринимает дополнительных воздействий.

Наклонные днища также состоят из сварного каркаса с плавающей обшивкой.

Конструкция кузова рассчитана на перевозку окатышей и агломерата с температурой до 700°C. Разгрузка осуществляется через два люка: по одному с каждой стороны вагона. Благодаря наклон-

ным поверхностям торцовых днищ и бункеров доставленное сырье полностью высыхает, как только откроются люки.

Механизм разгрузки обеспечивает:

- раскрытие крышек люков при поступлении соответствующего сигнала от системы управления;

- плотное их закрытие;

- надежное удержание люков закрытыми (независимо от наличия или отсутствия сжатого воздуха в системе разгрузки, а также от ударов по крышкам или динамических воздействий при поездной и маневровой работе).

В процессе выпуска открытых хопперов и их эксплуатации механизм разгрузки непрерывно улучшался и совершенствовался, поэтому на вагонах разных типов и лет постройки установлены неодинаковые по конструкции такие механизмы.

Рассмотрим работу унифицированного механизма разгрузки, которым оборудуются в последние годы все открытые и некоторые крытые хошеры. Он приводится в действие сжатым воздухом (0,6 — 0,8 МПа) от пневматической системы поезда или от стационарной сети. Управление работой механизма производится либо дистанционно, либо поворотами специальной ручки, находящейся вблизи шкворневой стойки кузова.

В нижней части вагона под разгрузочными бункерами параллельно хребтовой балке расположен приводной вал 7 (рис. 107), который поворачивается в подшипниках 6. По его концам закреплены двуплечные рычаги 12 (на рисунке показан один из них), связанные тягами 2 и 9 с шарнирами люков 1 и 8. Если вращать вал 7 по часовой стрелке, рычаги сначала пройдут через мертвую точку\*, а

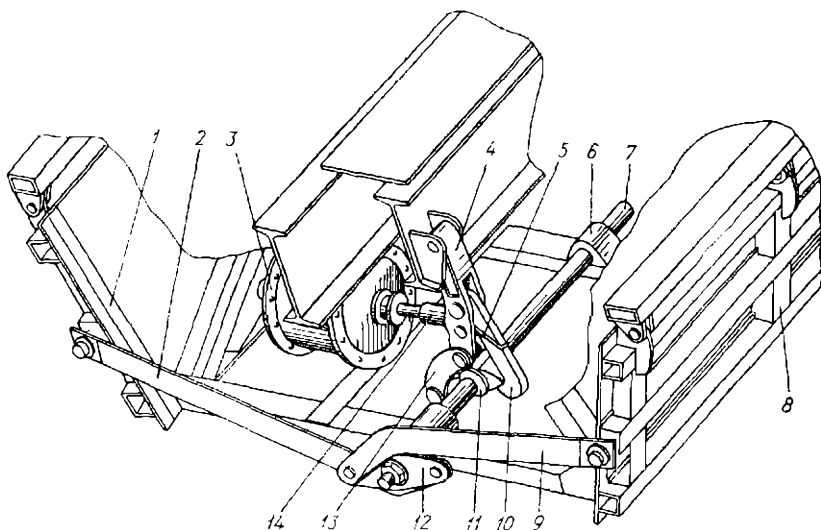


Рис. 107. Универсальный механизм разгрузки хоппера.

\* Момент, когда осевые линии тяги и ее рычага совпадают.

затем начнут толкать тяги в направлении открытия крышек люков. Наоборот, при вращении вала против часовой стрелки произойдет их закрытие.

Эти повороты осуществляются пневмоцилиндром двойного действия 3, шток которого своей головкой 14 связан через рычаг 4 и серьгу 13 с поводком 11. Последний (он неподвижно закреплен на приводном валу) имеет слева эксцентрический выступ для соединения с серьгой 13, а справа — фиксирующий зуб, за который зацепится защелка 10 под воздействием пружины 5.

Для открытия разгрузочных люков механизм управления пропускает сжатый воздух в заднюю полость цилиндра. Шток поршня перемещает свою головку вправо, которая сначала упирается в защелку и выводит ее из зацепления с зубом поводка, затем отклоняет вправо рычаг 4, который через серьгу и поводок вызывает вращение приводного вала по часовой стрелке. В результате люки открываются. Для закрытия их сжатый воздух подается в переднюю полость цилиндра, а задняя — сообщается с атмосферой. Шток уходит вовнутрь цилиндра, при этом головка через рычаг, серьгу и поводок проворачивает вал против часовой стрелки. Пружинная защелка в конце хода заскочит за зуб поводка и застопорит вал от самопроизвольного поворота по часовой стрелке, чем обеспечивается удержание крышек в закрытом положении при посадном режиме, когда пневматическая система разгрузки не запитава сжатым воздухом.

Дополнительное предохранение люков от открытия осуществляется двуплечным рычагом 12, который в конце процесса закрытия крышек переходит через мертвую точку, вследствие чего тяги 2 и 9 при своем натяжении стремятся провернуть вал 7 против часовой стрелки (в сторону закрытия).

Кроме изученного вагона эксплуатируется еще несколько моделей открытых хопперов для окатышей и агломерата. Отличаются они в основном своими параметрами. По путям МПС перевозки в таких вагонах производятся специализированными маршрутными поездами — вертушками. Конструкционная скорость открытых хопперов, допускаемых к обращению на магистральных линиях, составляет 120 км/ч.

Из числа хопперов, эксплуатируемых только на путях промышленных предприятий, наилучшие показатели имеет вагон для перевозки горячего агломерата (модель 22—483) — четырехосный, при длине кузова 16 м. Повышенная грузоподъемность (105 т) достигнута здесь за счет реализации осевых нагрузок, равных 343 кН. Конструктивно кузов отличается тем, что в нижней его части расположены четыре бункера. Управление разгрузкой может быть централизованным (с помощью дистанционной электропневматической системы).

Открытый хоппер для перевозки кокса (модель 22—445) допускается к обращению на путях МПС. Он также выполнен с четырьмя разгрузочными бункерами, каждая пара которых открывается своим унифицированным механизмом. Каркас кузова вагона —

раскосно-стоечной конструкции, что обеспечивает высокую прочность и надежность. Обшивка кузова не приваривается к каркасу, а прикрепляется специальными лапками. Если в процессе эксплуатации от воздействия химически активных компонентов груза она выходит из строя, ее несложно заменить на новую. Кузов и рама вагона изготавливаются из низколегированной стали 09Г2Д.

Четырехосный *хopper* для перевозки торфа характеризуется своеобразным конструктивным решением кузова. Над верхней обвязкой приварена коробка из штампованных стальных листов, которая существенно повышает вместимость вагона и уменьшает выветривание торфа при его транспортировке. По концам шкворневых балок рамы приварены V-образные мощные подкосы, укрепляющие угловые стойки и торцовые днища кузова.

Поскольку торф имеет большой угол естественного откоса ( $50-55^\circ$ ), наклон боковых днищ к горизонтали равен  $60^\circ$ . В средней части кузова поставлена поперечная стенка, разделяющая его на две половины. Вагон оборудован четырьмя разгрузочными люками повышенного размера ( $46 \times 2000$  мм). Рама и кузов выполнены цельносварными из низколегированной стали.

#### § 80. Крытые вагоны-хoppers

Эти хoppers, в отличие от универсальных крытых вагонов, обеспечивают механизированную разгрузку сыпучих материалов, не требующих упаковки и имеют высокие технико-экономические характеристики.

*Хoppers для перевозки цемента* (рис. 108) в большинстве своем относятся к магистральным вагонам, но часть из них является

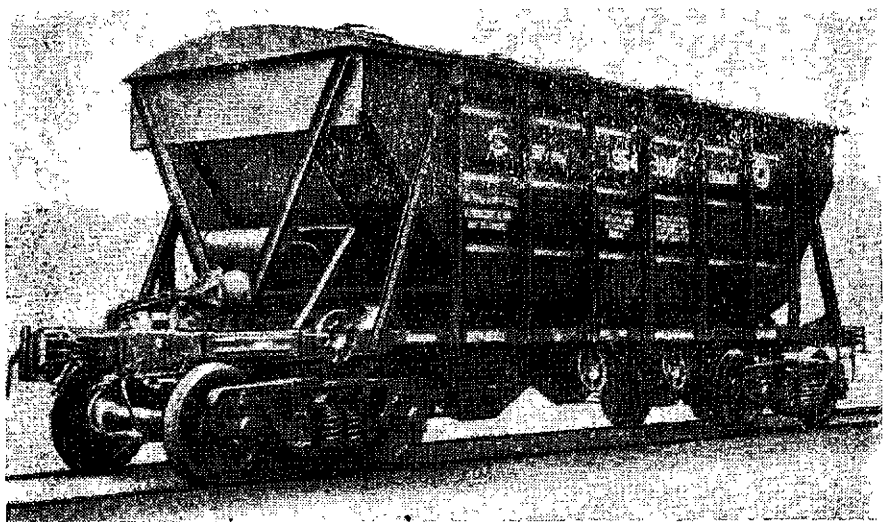


Рис. 108. Хopper для перевозки цемента.

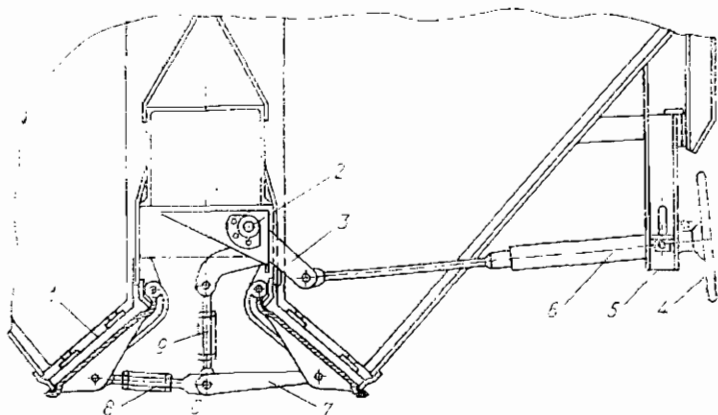


Рис. 109. Механизм разгрузки цементовоза.

собственностью предприятий. Грузоподъемность четырехсхосного хопнера 67 т, масса тары 22 т; коэффициент  $k_t=0,284$  (лучший показатель для единиц подвижного состава с осевыми нагрузками до 215 кН).

База вагона составляет 7700 мм, а длина кузова поверху — не более 8120 мм. Консольные части хопнера практически не используются для размещения груза, однако уменьшать базу нельзя, так как ухудшится плавность хода и не обеспечится конструкционная скорость (120 км/ч).

Рама вагона по своему строению существенно не отличается от рам открытых хопперов. Но здесь бункеры позволяют выгружать цемент не в боковые стороны, а непосредственно под вагон — в специальные приемно-разгрузочные устройства.

Кузов — цельнометаллический. Крыша, обшитая стальным гофрированным листом толщиной 2 мм, приваренным к поперечным дугам, оборудована четырьмя круглыми загрузочными люками диаметром 621 мм. Их крышки, плотно закрываемые механизмом запора, имеют сферическую поверхность для стекания атмосферных осадков.

Выгрузка вагона производится через четыре нижних бункера с прямоугольными отверстиями размером 500×400 мм. Винтовой механизм разгрузки (рис. 109) обеспечивает одновременное открытие или закрытие двух крышек 1, подвешенных на шарнирах. Вращая штурвал 4 привода 6, укрепленного на кронштейне 5, поворачиваем двуплечий рычаг 3 вокруг оси 2; средний шарнир О распорок 7 и 8 поднимается вверх, проходит мертвую точку (когда распорки горизонтальны) и открывает крышки бункеров.

В закрытом положении обе крышки должны быть плотно прижаты по всему периметру, что достигается регулировкой длины распорки 8 и тяги 9. При этом шарнир О, находясь ниже мертвой точки, под давлением груза на крышки стремится переместиться вниз, чему препятствует тяга 9.

При разгрузке хоплера (несмотря на наклонные днища бункеров) часть цемента может зависнуть в вагоне. Чтобы добиться полной его очистки, на специально предусмотренные снаружи бункеров скобы навешивают серийные накладные вибраторы типа С413, под действием которых процесс разгрузки ускоряется.

Цементовозы, как и другие крытые хопперы, оборудованы тележками ЦНИИ-ХЗ-0, автосцепкой СА-3 и тормозными устройствами.

Хоппер для перевозки технического углерода отличается повышенным (до 130 м³) объемом кузова при грузоподъемности 60 т. Разгрузка здесь осуществляется через восемь нижних бункеров в межрельсовые приемные устройства. Для ее ускорения также могут применяться накладные вибраторы.

Широкое распространение, кроме того, находят крытые хопперы для транспортировки зерна, минеральных удобрений и другой продукции.

## § 81. Полувагоны и платформы промтранспорта

Восьмиосный полувагон грузоподъемностью 105 т для перевозки медной руды имеет четыре двухосные тележки ЦНИИ-ХЗ—0, сочлененные попарно соединительными балками. От универсального полувагона он отличается меньшей длиной (15,5 против 20,2 м) и повышенной прочностью кузова. Рама сварена из прокатных профилей и закрыта сверху трехслойным полом: нижний лист — из стали толщиной 4 мм, средний слой — из дубовых брусьев (90 мм), верхний — из стальных полос (10 мм), сваренных встык. Боковые и торцовые стены выполнены из мощного каркаса, обшитого листом толщиной 6 мм. Никакими разгрузочными устройствами вагон не оборудован.

Загрузка медной руды осуществляется непосредственно в забое экскаваторами с объемом ковша 6—8 м³, при этом пол не повреждается при падении глыб, так как его средний слой хорошо амортизирует удары. Разгрузка производится мощными роторными вагонопопрокидывателями.

Платформы для перевозки горячего чушкового чугуна (600—800°C) и тяжеловесной обрезки, а также других различных грузов (слитков, изложниц, блюмсов, слябов) широко используются на металлургических заводах. В эксплуатации находятся четырехосные платформы разных лет постройки грузоподъемностью 70, 90 и 110 т. Последняя из них реализует осевые нагрузки 343 кН, чем и объясняются ее высокие технико-экономические показатели. Сравнивая, к примеру, параметры этой платформы и восьмиосного полувагона для медной руды, отметим, что грузоподъемность платформы меньше всего на 3 т, а масса тары — на 7,6 т.

Продольные балки рамы, соединенные между собой поперечными, изготавливаются из четырех двутавров высотой 600 мм. Пол платформы выполняется в три слоя: верхний и нижний — из стального листа соответственно толщиной 8 и 5 мм. Между ними насы-

пан слой шлака (200 мм), защищающий раму от температурного воздействия и смягчающий удары при погрузке и выгрузке магнитными кранами.

Боковые и торцовые борта платформы высотой около 1 м изготовлены из толстолистового стального проката и размещены под углом 15° к вертикали. Прочность их обеспечивают мощные сварные стойки — контрфорсы.

Пол вагона перед погрузкой горячего чугуна засыпают боем огнеупорного кирпича, что предохраняет конструкцию от перегрева и температурных деформаций.

Рассматриваемая платформа имеет тележки для осевых нагрузок 343 кН и автосцепки СА-3. Тормозными приборами она не оборудуется, но для питания других вагонов поезда сжатым воздухом на ней устанавливается пролетная труба с концевыми кранами и соединительными рукавами.

Четырехосная платформа для перевозки леса в хлыстах характеризуется увеличенной длиной рамы (до 24 м) при базе вагона 19 м; грузоподъемность — 56 т. Рама, все элементы которой изготовлены из стали 09Г2Д и скреплены электросваркой, включает в себя следующие балки: хребтовую (из двух двутавров № 60, усиленных накладками), две боковые продольные (из двутавров № 55) и поперечные — концевые, шкворневые и промежуточные.

Пол вагона образуется верхними горизонтальными полками двутавров рамы и приваренными между ними полосами гофрированного стального листа толщиной 2,5 мм.

Платформа не имеет бортов, а для удержания погруженных хлыстов леса к боковым продольным балкам рамы приварены шесть пар стоек высотой 3 м с переменным поперечным сечением. В верхней их части для стягивания груза подвешены цепи, а внизу между ними на раме размещены стальные гребенки высотой 100 мм, которые препятствуют продольным сдвигам хлыстов при соударениях вагонов и движении поезда.

Платформа оборудована тележками ЦНИИ-ХЗ—0, автосцепкой СА-3 и автоматическим тормозом. Конструкционная скорость вагона — 120 км/ч. Он может эксплуатироваться на путях промпредприятий и на магистральных железных дорогах.

## Контрольные вопросы

1. Какие Вам известны типы вагонов промышленного транспорта?
2. В чем особенности вагонов-хопперов?
3. Как устроен хоппер для перевозки горячих окатышей?
4. Для чего предназначен механизм разгрузки хоппера и как он работает?
5. Как устроены вагоны для перевозки кокса и торфа?
6. Какие устройства предусмотрены для разгрузки цементовоза?
7. Как устроена платформа для перевозки металлической обрезь? Почему рама не накаляется от горячего металла?
8. Как устроена платформа для перевозки леса в хлыстах?

## § 82. Назначение и устройство

Вагоны-самосвалы, или думпкары,— один из наиболее распространенных видов среди подвижного состава промышленного транспорта. Специальная конструкция открытого кузова позволяет грузить сыпучие и крупнокусковые материалы механизированными средствами, в том числе экскаваторами с повышенным объемом ковша.

Разгрузка думпкаров осуществляется путем опрокидывания кузова в поперечной плоскости с высыпанием содержимого за пределы габарита, так что выгруженная масса не препятствует дальнейшему передвижению поезда.

Известны две принципиально различные схемы вагонов-самосвалов: с неустойчивым и с устойчивым кузовом.

Думпкар с *неустойчивым кузовом* (рис. 110, а) имеет главную раму 7, посередине которой по длине вагона расположены кронштейны с отверстиями 6 (на рисунке — вид с торца). К этим кронштейнам с помощью роликов прикреплен кузов 2, центр тяжести которого ( $O$ ) размещен выше шарнирных опор. Следовательно, кузов находится в состоянии неустойчивого равновесия. Достаточно повернуть его на малый угол, чтобы сила  $P$  оказалась отклоненной от вертикальной оси симметрии и под действием данной силы произошло опрокидывание кузова. Для его удержания в нормальном состоянии думпкар оборудован сложными запирающими устройствами (на рисунке не показаны), которые препятствуют перемещению упорных кронштейнов 5 и 8. Боковые борта 1 и 4 навешены на систему торцовых рычагов 3.

Для опрокидывания кузова необходимо подойти к торцу вагона со стороны разгрузки, убедиться в безопасности предстоящей операции и повернуть специальную рукоятку управления. Сжатый воздух от локомотива через поездную магистраль поступит в цилиндры думпкара и вызовет перемещение поршней со штоками. Последние сначала выключат запирающий механизм со стороны разгрузки, а

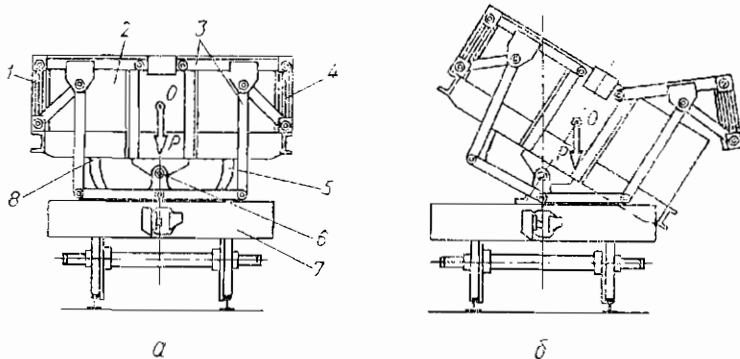


Рис. 110. Схема думпкара с неустойчивым кузовом.

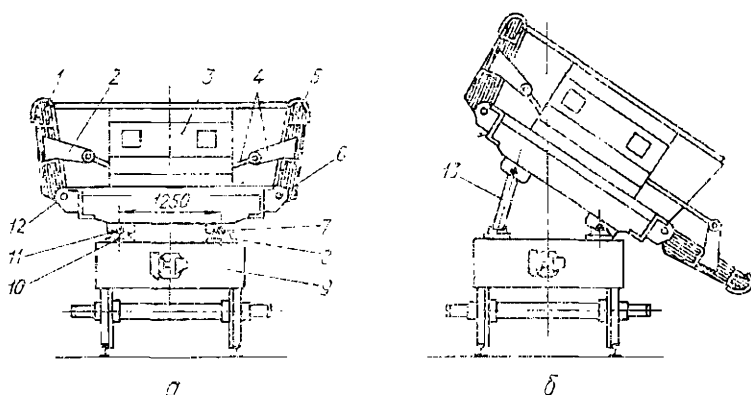


Рис. 111. Схема думпкара с устойчивым кузовом.

затем толкнут кузов на опрокидывание. В конце поворота он ударится об упругие амортизаторы.

В опрокинутом положении (см. рис. 110, б) рычажный механизм 3 отведет борт 4 в приподнятое положение, позволяя грузу высыпаться, в то время как противоположный борт 1 останется закрытым.

Для восстановления кузова рукоятку управления переводят в соответствующую позицию, вследствие чего заполняются цилиндры со стороны разгрузки; их штоки поднимают кузов и включают запирающие механизмы.

Устройство вагона-самосвала с устойчивым кузовом показано на рис. 111 (вид с торца). На неподвижной раме 9 установлены два ряда цилиндрических опор 8 и 10 (расстояние между ними по ширине 1250 мм). Соответственно в нижней части кузова имеются кронштейны с валиками 7 и 11, которые при транспортном его положении упираются в названные выше опоры. В результате кузов «получает» устойчивое равновесие.

Боковые борта думпкара 1 и 5 прикреплены к нижней части кузова с помощью парниров 12 и 6. Рычажные механизмы 2 и 4, размещенные в торцовых стенках, удерживают борта в закрытом положении.

Опрокидывание кузова в большинстве думпкаров осуществляется пневмоцилиндрами. Со стороны, противоположной разгрузке, штоки 13 указанных цилиндров (на рисунке не показаны) приподнимают одну сторону кузова, в то время как другая продолжает удерживаться на опорах нижней рамы. Боковой борт со стороны разгрузки открывается с помощью рычажного механизма и становится как бы продолжением пола кузова, обеспечивая высыпание груза за пределы габарита. Противоположный борт при этом остается закрытым.

Чтобы восстановить кузов, достаточно выпустить воздух из цилиндров опрокидывания, и он сам (кузов) займет устойчивое транспортное положение. Для ускорения процесса иногда в один из ци-

цилиндров запускают сжатый воздух в пространство над поршнем.

Думпкары с неустойчивыми кузовами типа ВС-50 грузоподъемностью 50 т, выпускаемые нашей промышленностью в 50-е гг., продолжают эксплуатироваться на промтранспорте. Их отдельные преимущества (перед вагонами с устойчивыми кузовами) заключаются в том, что для опрокидывания требуются меньшие усилия, а в результате удара об амортизаторы кузовов встряхивается, и прилипший (или примерзший) к полу груз высыпается.

Недостатки данных думпкаров связаны с неустойчивостью кузова: при отказе механизма запирания возможен самоопрокид с высыпанием груза в пути следования; высокое положение центра тяжести ухудшает динамические качества вагона (не исключен сход с рельсов); продольные борта длиной более 10 м скреплены только по торцам с рычагами, а с кузовом не соединены, что приводит к распору этих бортов сыпучим грузом.

В дальнейшем будут рассматриваться только вагоны-самосвалы с устойчивыми кузовами, которые составляют значительную часть подвижного состава промышленного транспорта.

### § 83. Основные параметры вагонов-самосвалов

Главным параметром думпкара является грузоподъемность. Она же для различных условий работы требуется неодинаковая. Чтобы уменьшить разнотипность вагонов и как можно полнее унифицировать их узлы, Калининградским вагоностроительным заводом разработан так называемый *унифицированный размерный ряд* думпкаров нормальной колеи (1520 мм).

Сущность предложенной унификации заключается в том, что для заданных осевых нагрузок  $p$  и числа осей  $n_0$ , зная ориентировочно коэффициент тары ( $k_T=0,4-0,5$ ), можно по ранее приведенной формуле (29) определить грузоподъемность, а затем рассчитать другие параметры думпкара.

Осевые нагрузки приняты трех основных значений:  $p_1=205-216$  кН,  $p_2=245-255$  кН и  $p_3=295-304$  кН. В настоящее время разработаны ходовые части также для  $p_4=343$  кН.

Величины грузоподъемности думпкаров унифицированного размерного ряда приведены в табл. 15. Такой ряд позволяет использо-

Таблица 15. Унифицированный ряд думпкаров

Число осей, шт.	Грузоподъемность (т) в зависимости от осевых нагрузок (кН)			
	205—216	245—255	295—304	343
4	60*	70	82—85	100
6	92	105*	130*	150
8	120	145*	180*	210

\* Грузоподъемность уже носогрессных думпкаров.

Таблица 16. Параметры думпкаров

Параметры	Тип (номер модели)							
	BC-60 (31—638)	BC-85 (31—639)	31—652	BC-105 (31—634)	BC-145 (31—653)	BC-180 (31—631)	32—650	УBC-22
Грузоподъемность, т	60	85	82	105	145	180	42	22
Число осей, шт.	4	4	4	6	8	8	4	4
Масса тары, т	27	35	37,6	48,5	64,5	67	22,7	11
Объем кузова, м³	26,2	38,8	36,1	50	72	59,2	19,6	10
Длина по осям автоцепок, мм	11830	12170	12170	14900	17580	14580	11830	9340
Ширина кузова (максимальная), мм	3210	3520	3520	3520	3464	3464	2750	2136
Высота от уровня головок рельсов (максимальная), мм	2740	3236	3310	3241	3650	3270	2490	1870
Количество разгрузочных цилиндров, шт.	4	4	4	6	8	8	4	2
Конструкционная скорость на путях промтранспорта, км/ч	70	70	70	70	70	70	70	—
Габарит (ГОСТ 9238—73)	11т	т	т	т	т	т	т	—
Ширина колеи, мм	1520	1520	1520	1520	1520	1520	1000	750
Нагрузка от оси на рельс, кН	213,4	294	294	251	257	302	159	81,4

вать унифицированные детали. Например, типы колесных пар, буксовых узлов и рессорного подвешивания для тех же самых осевых нагрузок берут одинаковыми.

На путях магистрального транспорта могут эксплуатироваться как в порожнем, так и в груженом состоянии только думпкары ВС-60 (модель 31—638) — четырехосные вагоны грузоподъемностью 60 т на тележках ЦНИИ-ХЗ—0, созданные по общесетевому габариту 1Т (ГОСТ 9238—73). Основные параметры этих вагонов, а также некоторых других приведены в табл. 16.

Повсеместно применяемые четырехосные думпкары Д-80, Д-82 и ВС-85 построены для осевых нагрузок около 295 кН и вписаны в габарит Т, который шире общесетевого (1Т). На путях МПС данные вагоны могут транспортироваться только в порожнем состоянии, причем их продольные борта стягивают для уменьшения максимальных размеров кузова.

Думпкар ВС-85 выпускается серийно. Его конструкция допускает падение глыб массой до 3 т с высоты 2 м, если предварительно в кузов загружен слой сыпучего материала.

На базе вагона-самосвала ВС-85 были спроектированы и построены четырехосные думпкары модели 31—652 для перевозки на металлургических предприятиях горячих сыпучих грузов с температурой до 800°C. Специальная конструкция кузова со свободно перемещающейся («плавающей») обшивкой пола, бортов и лобовых стен обусловила повышение тары вагона, вследствие чего его грузоподъемность уменьшена до 82 т.

Шестиосные думпкары выпускаются грузоподъемностью 105 т. Кузов — аналогичен предыдущему, но прочность и объем его увеличены. Допускается падение в вагон глыб массой 3 т с высоты 3 м при наличии предварительной подсыпки. Из трех пневматических разгрузочных цилиндров, установленных с каждой стороны думпकारа, средний — двойного действия (для обеспечения как подъема, так и быстрого опускания кузова).

Наибольшую грузоподъемность имеют восьмиосные вагоны-самосвалы, выпускаемые в основном для рудничного транспорта. Думпкар 2ВС-145 предназначен для легких вскрышных пород, а модель 2ВС-180 (см. рис. 79) для тяжелой руды и скальных пород. Из четырех цилиндров с каждой стороны вагона один — двойного действия.

На предприятиях с узкоколейными железными дорогами эксплуатируются несколько типов думпкаров. Принцип их работы соответствует вагонам-самосвалам нормальной колеи, а параметры ограничены техническими условиями указанных выше дорог.

## **§ 84. Конструкция и работа основных узлов**

Благодаря осуществленной унификации вагоны-самосвалы с устойчивым кузовом имеют сходную конструкцию. Ниже в качестве примера рассмотрены основные узлы думпकारа ВС-85.

Главным элементом *нижней рамы* (рис. 112) является хребтовая

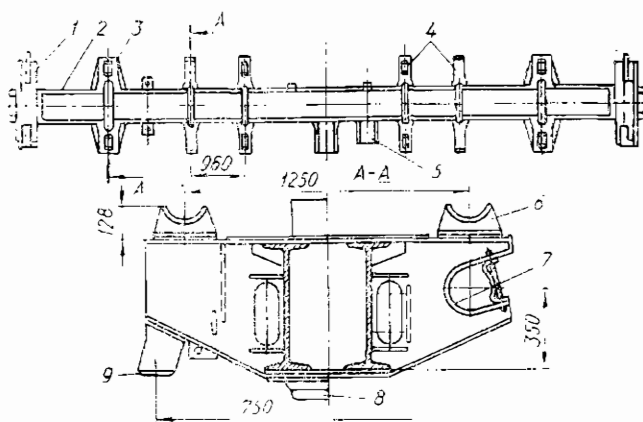


Рис. 112. Нижняя рама думпкара ВС-85.

балка 2, к которой приварены концевые и шкворневые (по две) — 1 и 3, а также четыре цилиндрические (4) балки и, кроме того, — кронштейны для навески тормозного оборудования 5 (шкворневая — слева на сечении А—А, цилиндрическая — справа). Внизу к балке 3 прикреплен пятник 8 и приварены скользуны 9 для сочленения с тележкой.

Восемь опор 6 кузова установлены на верхних листах шкворневых и цилиндрических балок. Последние имеют специальные вырезы 7, куда входят опорные валы пневматических цилиндров опрокидывания думпкара. Каждый из них навешивается на две балки.

Кузов думпкара оборудован собственной рамой (верхней), к которой приварены торцовые (лобовые) стены и шарнирно прикреплены боковые борта. Эта рама, поперечное сечение которой показано на рис. 113, состоит из набора продольных и поперечных стальных прокатных профилей — 3 и 4. По бокам она имеет кронштейны 1 с отверстиями для крепления боковых бортов, а снизу — кронштейны 5 с валиками для опирания на нижнюю раму.

Пол 2 думпкара выполнен в три слоя: верхний (плита) и нижний — из стальных листов толщиной соответственно 12 и 4 мм, а средний (упругая прослойка) — из деревянных брусков (75 мм).

Продольный борт (рис. 114) сварен из стальных деталей (каркаса и обшивки). Его конструкция обеспечивает высокую прочность

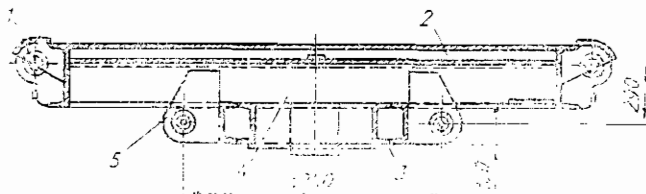


Рис. 113. Поперечное сечение верхней рамы кузова.

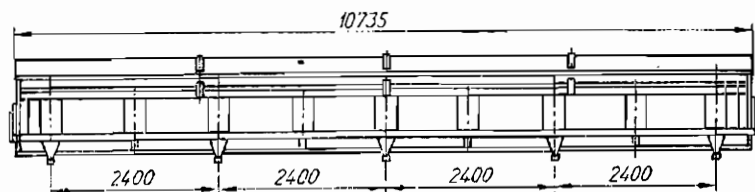


Рис. 114. Продольный борт думпкара.

как от сил распора перевозимой продукции, так и от ударов, случающихся при погрузке-выгрузке.

Механизм открытия правого продольного борта думпкара изображен на рис. 115. Рычаг  $CB$  может поворачиваться относительно неподвижной точки  $O$ , которая соединена валиком с торцовым бортом. Точка  $C$  рычага связана тягой  $AC$  с нижней рамой, а точка  $B$  — тягой  $BE$  с продольным бортом. При наклоне кузова вправо точка  $A$  остается неподвижной, а точка  $O$  вместе с ним поднимается вверх.

Понятно, что конец рычага  $C$  будет перемещаться влево, а конец  $B$  — вправо, вследствие чего тяга  $BE$  откроет продольный борт. При наклоне же кузова влево точка  $O$  движется по дуге окружности с центром в точке  $A$ , так что расстояние  $AO$  не увеличивается, и правый борт остается закрытым.

Механизм открытия левого борта устроен аналогично.

Пневматическая система разгрузки (рис. 116) позволяет опрокидывать кузова единичных вагонов или группы их с одного поста управления. Магистральный трубопровод  $6$  с концевыми кранами  $2$  и  $7$  и гибкими соединительными рукавами  $1$  и  $8$  снабжается от локомотива или компрессора сжатым воздухом ( $0,5\text{--}0,7$  МПа) и подает его соседним вагонам.

С отвода  $4$  по трубопроводам  $5$  воздух поступает на специальный прибор — воздухозамедлитель  $13$ . Внутри него имеется система клапанов, которые в нормальном состоянии не пропускают воздух из трубы  $5$ . Одновременно с отвода  $4$  запитывается трубопро-

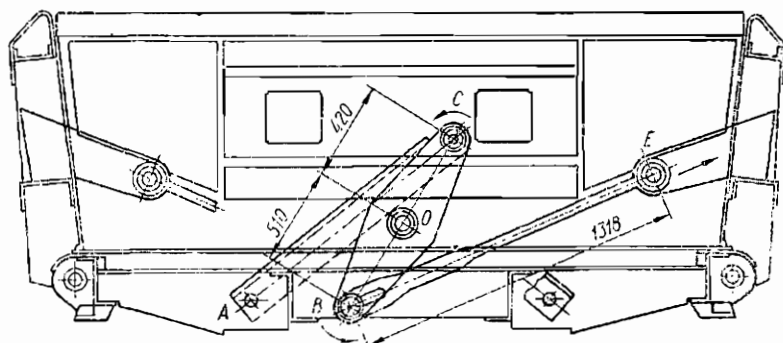


Рис. 115. Механизм открытия правого борта думпкара.

вод управления 3, предоставленного на схеме кранами 12 и 14 (закрытыми в нормальном положении).

Для опрокида кузова открывается кран 14, сжатый воздух по трубе 15 поступает в управляющую камеру воздухозамедлителя и открывает его клапаны, вследствие чего по трубе 10 разгрузочные цилиндры 9 и 11 заполняются воздухом и опрокидывают кузов, что, в свою очередь, вызывает постепенное закрытие упомянутых клапанов и мягкую его остановку после поворота на 45°.

Для возврата кузова в нормальное положение рукоятку управления ставят в позицию «Посадка»; кран 14 закрывается и сообщает трубу 15 с атмосферой, что приводит к выпуску воздуха из трубы 10 и разгрузочных цилиндров. Одновременно кран 12 открывает ему доступ в верхнюю полость цилиндра двойного хода 11, чем достигается ускоренный принудительный возврат кузова в горизонтальное положение. После этого рукоятка управления переводится в позицию «Поездная», при которой кран 12 закрыт, а верхняя полость цилиндра 11 сообщена с атмосферой.

Для опрокида кузова в противоположную сторону есть аналогичная пневматическая система.

Кроме рассмотренной, была разработана и опробована *электрогидравлическая система* (соответствующие цилиндры здесь питаются маслом от мотор-насосной установки, имеющейся на локомотиве). Управление опрокидом выполняется с помощью специальных электрических цепей и приборов. Давление масла — до 15 МПа. Система показала нормальную работу при значительном снижении массы тары вагона за счет замены громоздких и тяжелых пневматических цилиндров на гидравлические.

В условиях низких температур перевозимые материалы могут примерзнуть к кузову. Поэтому важное значение приобретает вопрос применения специальных устройств для облегчения их выгрузки. Одним из таких устройств является *виброразгрузка*, сущность которой заключается в следующем.

Под полом вагона вращаются от электродвигателей валы с неуравновешенными грузами. Возникает вибрация кузова, груз отслаивается и начинает интенсивно высыпаться. В опытном порядке данные устройства были установлены на шестисном думпкоре и показали положительные результаты.

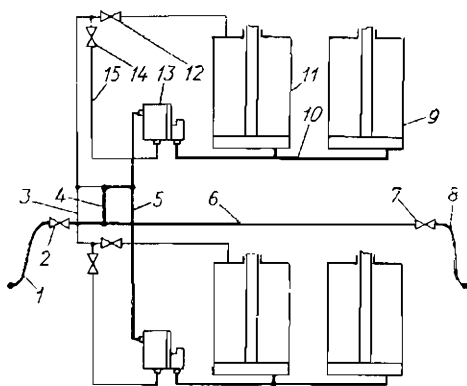


Рис. 116. Пневматическая система разгрузки думпкара.

## Контрольные вопросы

1. В чем основные отличия конструкций думпкаров с неустойчивым и устойчивым кузовами?
2. Для чего составлен размерный ряд вагонов-самосвалов?
3. Как устроен кузов думпкара?
4. Для чего предназначен и как работает механизм открытия борта?
5. Как работает пневмосистема разгрузки вагона-самосвала?
6. Какие системы разгрузки думпкаров Вы знаете?

## Глава 26. ПОДВИЖНОЙ СОСТАВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

### § 85. Общие сведения

Рельсовый подвижной состав технологического назначения принимает непосредственное участие в производственных процессах предприятий. Главная его особенность заключается в прямом взаимодействии с различными агрегатами и установками, что позволяет уменьшать затраты на изготовление продукции, улучшать ее качество и упрощать те или иные операции. К примеру, металл из доменной печи сливается в ковши чугуновозов и в жидком виде транспортируется в сталеплавильные цехи, иногда проходя по магистральным путям МПС. Это исключает процессы его разлива в формы, остывания, хранения, погрузки и выгрузки, нагрева в упомянутых цехах. Экономятся, следовательно, трудовые и энергетические затраты.

Необходимо, чтобы по своим параметрам данный подвижной состав:

- отвечал показателям обслуживаемых агрегатов;
- имел конструкцию ходовых частей, кузовов и погрузочно-разгрузочных устройств, увязанную с соответствующими механизмами основного производства;
- обеспечивал выполнение транспортных операций, четко согласованных с технологическим ритмом предприятия.

В связи с этими обстоятельствами разработкой и изготовлением технологического подвижного состава занимаются не только вагоностроительные заводы, но и проектные организации и предприятия металлургического, коксохимического или другого промышленного оборудования.

Технологические вагоны имеют специфические ходовые части: допускается уменьшение диаметров колес и повышение осевых нагрузок (до необходимых пределов). Оборудуются они автосцепками типов СА-3 и щеколдного. Такие вагоны обычно состоят на балансе соответствующих производственных цехов (не железнодорожных), где организуются их эксплуатация, техобслуживание и ремонт.

По способу передвижения различают **несамоходные** и **самоходные** вагоны, а по назначению и параметрам — следующие основные их типы:

а) шлаковозы с чашами емкостью 11, 16, 16,5,  $2 \times 16,5$  и  $20 \text{ м}^3$  — для транспортировки жидкого доменного шлака;

б) чугуновозы\* ковшового и миксерного типов (первые грузоподъемностью 80, 100, 140 и 200 т, а вторые — 150, 300 и 420 т);

в) слитковозные тележки двухосные (50 т) и четырехосные (120 и 160 т) — для перевозки слитков (изложниц, поддонов и др.) между сталеплавильными и прокатными цехами, а также на склады;

г) мурдовозные тележки двухосные (24, 30, 40, 45 и 50 т) — для подачи шихтовых материалов в мурдах к сталеплавильным объектам;

д) тележки для перевозки труб между цехами трубопрокатных предприятий (грузоподъемность 10 и 15 т);

е) коксотушильные вагоны (9, 13, 23, 25 и 30 т) — для доставки кокса в горячем состоянии к установкам тушения;

ж) трансферкары (рудные грузоподъемностью 65 и 70 т, угольные — 60 т, коксовые — 30 т) — для перевозки дозированного количества продукции по эстакадам с разгрузкой в приемные бункера доменных и коксовых печей;

з) вагоны-весы и электровесовые тележки (различной грузоподъемности) — для загрузки необходимого количества шихты в печи и другие агрегаты.

Ниже будут рассмотрены устройство и работа основных типов технологического подвижного состава.

### § 86. Вагоны для перевозки жидкого шлака и чугуна

Чаша 7 (ковш объемом  $11 \text{ м}^3$ ) шлаковоза (рис. 117), представляющая собой круглую, уширяющуюся кверху емкость из легированной стали с толщиной стенок 65—70 мм, размещена в специальном опорном кольце 8 и закреплена в нем замковыми устрой-

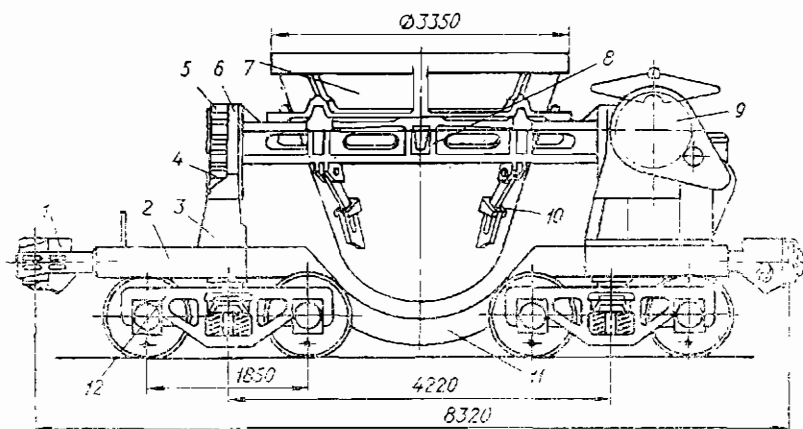


Рис. 117. Шлаковоз.

\* Об их назначении говорилось выше.

ствами 10. Кольцо имеет две цапфы, за одно целое с которыми отлиты бегунки 6 и зубчатые сегменты 5, предназначенные для поворота этого кольца и опрокидывания ковша.

Наличие чаши не позволяет изготовить раму вагона плоской. Поэтому она — составная: выполняется из двух лафетов 2, соединенных фигурной балкой 11. Такой лафет — это массивная сварная (иногда литая) конструкция, оборудованная снизу пятником и скользунами для сочленения с тележкой 12. В торце лафета — типовая автосцепка 1 (СА-3), а над шкворневой балкой — мощная стойка 3 с направляющей дорожкой для опоры бегунка и зубчатой рейкой 4 для сегмента кольца 8.

Механизм опрокидывания 9 имеет электродвигатель мощностью 20—30 кВт и механическую передачу, которая вынуждает зубчатый сегмент с бегунком совершать поступательное перемещение поперек вагона (по дорожкам стоек и рейкам). Чаша вместе с опорным кольцом опрокидывается, одновременно передвигаясь в сторону разгрузки. Цилиндрические бегунки обеспечивают плавное (без подрагивания) перемещение ковша, а зубчатый сектор предотвращает их проскальзывание. Питание электродвигателя осуществляется по кабелю, подсоединенному к стационарному электрошлиту. Восстановление чаши в транспортное положение после разгрузки производится реверсированием двигателя.

Шлаковозы других типов отличаются емкостью ковшов, линейными размерами вагона и механизмами опрокидывания. При отсутствии последних поворот чаши выполняется подъемным краном или лебедкой.

Несмотря на сравнительно невысокую грузоподъемность шлаковозов (в пределах 11—12 т) их масса тары достигает 70—100 т, поэтому ходовые части должны выдерживать значительные осевые нагрузки (до 295 кН).

Чугуновозы имеют гораздо большую грузоподъемность, поскольку плотность транспортируемого ими металла в семь раз выше, чем шлака. По конструктивной схеме (рис. 118) эти вагоны принципиально не отличаются от предыдущих. Ходовыми частями служат спроектированные для высоких осевых нагрузок (до 515 кН) двухосные тележки, на которые опираются два лафета. Последние, сваренные из листовой низколегированной стали, соединяются между собой мощной фигурной балкой. Зазор между нижней ее поверхностью и рельсами составляет 130 мм, что вызывает необходимость содержать путь для движения чугуновозов хорошо спланированным по профилю. Лафеты имеют стойки 2 для опирания ковша, а в передней своей части — упоры 1 для правильной установки вагона под погрузку и разгрузку.

Чтобы уменьшить потери тепла во время транспортировки, ковш чугуновоза, существенно отличающийся от чаши шлаковоза, делают грушевидным со сужающейся верхней частью. Наружная его поверхность 5 выполняется из стального листа толщиной 28 мм, а внутренняя — имеет футеровку 6 из огнеупорного кирпича толщиной 310 мм у днища.



Преимущества чугуновозов рассматриваемого типа заключаются в том, что они позволяют отказаться от строительства стационарных миксерных установок, длительное время сохраняют высокую температуру металла, допускают возможность транспортировки его в расплавленном виде на значительные расстояния.

В последние годы в нашей стране построены и эксплуатируются (с правом выхода на пути МПС) миксерные чугуновозы, характеризующиеся грузоподъемностью 150 т, массой тары 210 т, нагрузкой от оси на рельсы 392 кН и скоростью движения до 50 км/ч. Число вагонов в поезде — до 10. Внедрение таких поездов дает эффект, исчисляемый десятками миллионов рублей.

### § 87. Тележки технологического промтранспорта

Отличительная особенность тележек технологического назначения — сравнительно небольшие габариты и высокая грузоподъемность. Если уровень пола платформы расположен на высоте 1300 мм от головок рельсов, то погрузочная площадка тележки отстоит от них на расстоянии 700—1000 мм. Это приводит к необходимости применять нестандартные литые колеса уменьшенного диаметра, низко размещенные автосцепки щеколдного типа и другие неунифицированные детали.

*Слитковозная тележка* (или тележка для изложниц) грузоподъемностью 160 т (рис. 119) состоит из платформы 1 (отлитой из стали 35Л), двух\* ходовых тележек 2 и автосцепки щеколдного типа 3. Платформа (верхняя ее плита имеет толщину 45 мм и размер 5500×2400 мм) является одновременно рамой и грузовой площадкой, на которую устанавливают изложницы, служащие для разлива металла и других технологических операций. Из стали 35Л отлиты также опорные части платформы, корпуса автосцепок и усиливающие ребра. Ходовая тележка 2 с осевыми нагрузками 445 кН снабжена колесами диаметром до 650 мм и шестипружинными специальными рессорными комплектами, жесткость которых в пять раз выше, чем у тележек ЦНИИ-ХЗ—0.

Тара слитковозной тележки составляет всего 22 т, что объясняется ее малыми габаритами. Зато погонная нагрузка в данном слу-

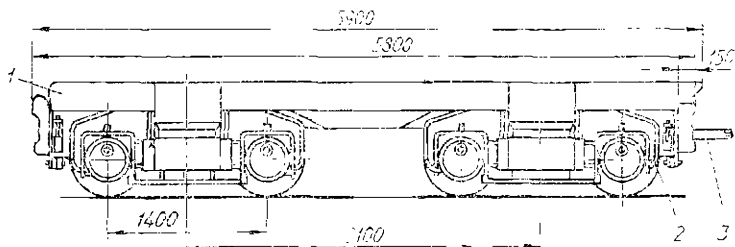


Рис. 119. Тележка для изложниц.

\* При местном исполнении имеются три таких тележки, на которые опирается составная платформа. Грузоподъемность при этом — 240 т.

час равна 300 кН/м, т. е. она в 2,2 раза больше, чем у восьмисного думикара. Следовательно, для участков движения необходимы мощный путь и содержание его в хорошем состоянии.

Мульдовые тележки по своей конструкции принципиально подобны предыдущим, но поскольку масса самих мульд (коробок) и заполняющего их груза значительно меньше, чем слитков, эти тележки изготавливаются двухосными с облегченной платформой. Так, одна из них, обладающая грузоподъемностью 45 т, имеет тару около 8 т, осевую нагрузку 260 кН, а погонную—107,5 кН/м; размер платформы 4400×2400 мм.

На тележке размещаются четыре мульды. Их загружают пихтой и доставляют в мартеновский цех, где завалочная машина, захватив коробку за специальный замок, переносит ее в печь, опрыскивает, а затем снова устанавливает на тележку. Загрузка мульд осуществляется грейферными кранами без снятия их с платформы.

Технологические двухосные тележки для перевозки труб относятся к самоходным транспортным средствам с дистанционным управлением. На рис. 120 показан поперечный разрез тележки типа ЭТ-15—7,5 (цифры обозначают ее грузоподъемность — 15 т и расстояние между осями — 7,5 м). От скатывания трубы удерживаются шестью фигурными стойками 2 из стального листа с защитным деревянным покрытием 1, приваренными к раме 5 (длина ее 9350 мм), которая опирается непосредственно на буксы 6 колесных пар. Рессорного подвешивания здесь нет.

Одна из двух колесных пар приводится во вращение от асинхронного трехфазного электродвигателя 4 мощностью 3,5 кВт через механическую передачу 3, связанную с осью 7. Токoprисмычки опущены в специальную траншею на междупутье, где проложены три изолированные друг от друга шины 8. При подаче на них электрической энергии тележка будет перемещаться со скоростью 1,3 км/ч. Изменение направления движения осуществляется переключением фаз поступающего напряжения.

Тележки оборудованы электромагнитным тормозом. Сцепление их производится с помощью валика, устанавливаемого в специально предусмотренные кронштейны. Из двух соединенных тележек одна должна быть самоходной.

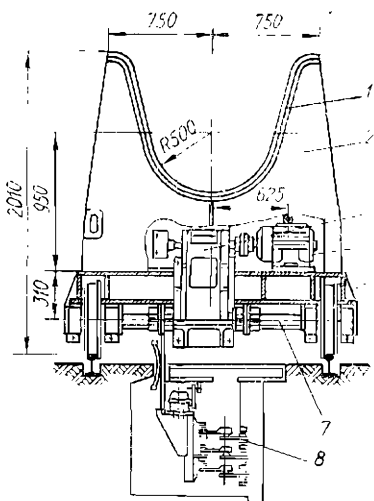


Рис. 120. Тележка для транспортировки труб.

## § 88. Коксотушильные вагоны

Коксотушильные вагоны обеспечивают выполнение технологических и транспортных операций на коксохимических предприятиях. Горячий кокс (около  $1000^{\circ}\text{C}$ ) из печей засыпается в кузов сверху, после чего вагон доставляется к тушильной башне, где прямо в нем происходит процесс обработки и охлаждения кокса фенольной водой. Затем, после подачи к разгрузочной рампе, открываются затворы (крышки люков) в нижней части боковой стены кузова, и груз высыпается в приемные устройства.

Специфические условия работы данных вагонов обусловлены химической активностью кокса и подаваемой воды, что в совокупности с высокой температурой быстро разрушает обычную сталь. Поэтому в конструкции кузова применены материалы, не поддающиеся такому процессу, а большинство деталей выполнены усиленными для обеспечения высокой надежности и долговечности. Масса тары вагона сравнительно большая (57,5—96 т), в то время как грузоподъемность составляет от 13 до 25 т из-за невысокой плотности перевозимого продукта.

В зависимости от емкости и специфических условий работы коксовых печей изучаемые вагоны (их более десяти типов) имеют различные параметры и конструктивные особенности.

Ходовыми частями 1 вагона (рис. 121) являются стандартные тележки ЦНИИ-ХЗ—0, на которые опирается рама 2. К ней приварены стойки (по пять с каждой стороны) — высокие задние 4 и короткие передние 7. На этих стойках расположен кузов, имеющий днище, наклоненное под углом  $28^{\circ}$  к горизонту, продольную стенку 11 и два затвора 10 — крышки разгрузочных люков размером  $7,5 \times 1,75$  м каждая.

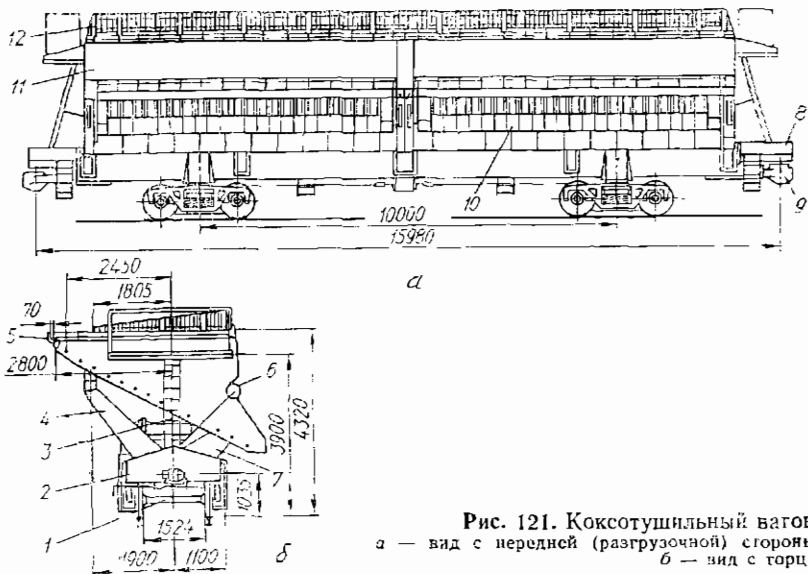


Рис. 121. Коксотушильный вагон:  
а — вид с передней (разгрузочной) стороны;  
б — вид с торца.

Наружные части передней и торцовых стен, а также затворы и днища выполнены из листовой углеродистой стали толщиной 8–16 мм. Внутренние поверхности кузова покрыты нержавеющей сталью марки Х18Н10Т и облицованы плитами (20–25 мм) из жаростойкого чугуна, которые крепятся болтами. Зазоры между этими плитами (10–25 мм) обеспечивают сток фенольной воды во время тушения кокса. В верхней части кузова имеется стальная решетка 12, благодаря которой увеличивается объем перевозимого груза.

Затворы 10, подвешенные к передней стене с помощью подшипников 6, открываются управляемым с электроваза механизмом 3, который состоит из пневматического цилиндра и механической передачи. Специальная электрическая сигнализация информирует машиниста локомотива о положении затворов: при открытых горят красные лампы, при закрытых — зеленые.

Вагон оборудован датчиками 5, контролирующими правильность постановки его под погрузку и выгрузку, а также автосцепками 9 (СА-3), защищенными фартухами 8 от попадания кокса и фенольной воды. От воздействия химических веществ предохраняются и ходовые части.

Торможение коксотушильного вагона осуществляется типовым автотормозным оборудованием.

## § 89. Самоходный дозирующий подвижной состав

Дозированная загрузка печей и агрегатов сырьем производится трансферкерами, вагонами-весами и электровесовыми тележками.

*Трансферкары* — специализированные технологические вагоны, оборудованные механизмами передвижения, разгрузки и взаимодействия с обслуживаемыми объектами, — применяются на заключительном этапе сырьевого обеспечения. Их функция сводится к подаче необходимых порций подготовленного материала в бункера доменных печей, коксовых батарей и других агрегатов.

В зависимости от рода груза трансферкары бывают рудные, коксовые и угольные. Первые из них (соответствующая схема показана на рис. 122) совмещают в своей конструкции электровоз и вагон

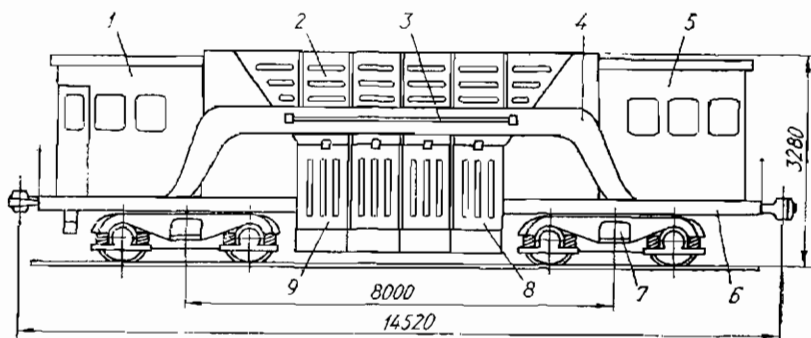


Рис. 122. Схема трансферкара.

1

типа «хopper». По концам кузова размещены кабины 1 и 5, снабженные контроллерами машиниста и электрооборудованием собственных нужд: компрессором, вентиляторами, отопителями, аппаратурой управления и защиты. Тележки — моторные, каждая из них (7) имеет электродвигатели типа ДК304-Г и зубчатую передачу для привода осей колесных пар. Конструкционная скорость самодвижущихся вагонов — 20 км/ч. Энергоснабжение осуществляется от двух троллейных шин, подвешенных на колоннах сбоку вдоль фронта работ трансферкара. В шины подается постоянный ток напряжением 220 В.

Рама 6 сварена из стальных прокатных профилей и оборудована по концам автосцепками СА-3, чтобы при необходимости трансферкар мог использоваться как электровоз для перемещения вагонов, а также доставки самого трансферкара в ремонтные цехи. Особенность рамы состоит в том, что к ее боковым продольным балкам с двух сторон вагона приварены мощные П-образные порталы 4, к которым прикреплен кузов (или бункер) 2. Его торцовые и боковые стенки (выполненные с уширением к верхней открытой части, куда загружается руда грейферными кранами) наклонены к горизонтали соответственно под углами 55 и 75°.

В нижней части бункер имеет наклонные днища, а по бокам — разгрузочные люки с затворами (крышками) 8 и 9, которые открываются и закрываются с помощью специальных механизмов. Вертикальной поперечной стенкой он разделен на две половины, и отдельно с каждой можно выгружать руду.

Бункер выполнен из стальных элементов, внутренние его поверхности облицованы высокоуглеродистой сталью, обладающей достаточной стойкостью от истирания частицами груза. Чтобы предотвратить примерзание руды к кузову в зимний период, предусмотрены тепловая изоляция и электрические обогреватели 3.

На трансферкаре установлено типовое тормозное оборудование грузовых вагонов. Электрическая сигнализация в кабинах машиниста способствует правильному выполнению всех технологических операций.

Четырехосные вагоны-весы для дозированной подачи шихты к доменной печи (конструктивно аналогичные трансферкарам) строят с грузоподъемностью 25—40 т; тара составляет 50—70 т, длина по раме — до 17 м. Они имеют загрузочные бункера (с затворами), куда насыпается порция сырья с одновременным взвешиванием. Вагон, перемещающийся с помощью тяговых двигателей, разгружается в скиповую подъемную установку (путем открытия затворов).

Принципиальное отличие трансферкаров и вагонов-весов заключается в том, что бункера последних опираются на сложную систему взвешивания (рычажного типа).

Углеразгрузочные вагоны-весы, применяемые на коксохимических предприятиях, характеризуются более сложной конструкцией, так как с них производят: управление затворами угольной башни, снятие крышек коксовых печей, уборку шихты и другие технологические операции. Параметры этих вагонов следующие: грузоподъ-

емность (предел взвешивания) — 20—30 т, тара — 48—67 т, емкость бункеров — 22—38 м<sup>3</sup>, число осей — четыре.

Вагоны-весы для угля имеют специальные ходовые части; движение осуществляется по 5230-миллиметровой колее. Ширина же вагона достигает 10 м при значительно меньшей длине — до 7,6 м.

*Электровесовые тележки* (двухосные) — бункерные и платформенного типов — предназначены главным образом для дозировки и подачи шихты в литейный цех. Их предел взвешивания — до 5 т, длина — 4,35 м, ширина — 2,12 м, тара — 3—4,5 т. Перемещаются они благодаря электроприводу, аналогичному с приводом передвижных кранов.

Прогрессивным направлением совершенствования весового подвижного состава является отказ от сложных рычажных систем и переход на электронные системы взвешивания, позволяющие увеличить его пределы и точность, а также существенно упростить конструкцию механических частей.

## .      **Контрольные вопросы**

1. Какие бывают типы технологических вагонов?
2. Как устроены вагоны для перевозки жидкого шлака и чугуна?
3. Как устроены тележки для изложниц?
4. Из каких узлов состоит коксотушильный вагон?
5. Для чего предназначены и как работают трансферкары?

## **Глава 27. ВАГОННОЕ ХОЗЯЙСТВО**

### **§ 90. Вагонный парк предприятия**

В зависимости от объема перевозок и номенклатуры грузов каждое предприятие (транспортное объединение) имеет соответствующий вагонный парк, комплектация которого производится исходя из требований полного и своевременного выполнения перевозочного процесса, обеспечения технологических режимов работы обслуживаемых цехов и складов, минимальной себестоимости транспортировки и погрузочно-выгрузочных операций, сохранности грузов и вагонов, ритмичности работы промтранспорта. В состав такого парка могут входить вагоны:

— общего назначения (универсальные и специальные) с осевыми нагрузками 205—220 кН, которые обращаются на путях предприятия, межзаводских и при необходимости — на путях МПС;

— специальные (220—345 кН), эксплуатируемые только на путях предприятия;

— технологические (до 550 кН), обращающиеся на путях усиленной (или особой) конструкции и обслуживающие цеха заводов.

К *инвентарному* парку относятся все наличные вагоны, числящиеся на балансе предприятия (независимо от их местонахождения и технического состояния), а к *рабочему* (эксплуатационному) парку — только исправные, участвующие в перевозочном процессе, об-

служивающие цеха и находящиеся под погрузочно-выгрузочными операциями либо в их ожидании.

Разницу между указанными двумя парками составляют вагоны *нерабочего парка* и *резерва предприятия*. Первые из них могут пребывать в ремонте, его ожидании или в отстое к списанию, а также использоваться для хозяйственных нужд, а вторые — это изъятые из эксплуатации технически исправные вагоны, которые в нужное время по распоряжению руководителя предприятия вновь включаются в работу.

Для расчета общего рабочего парка вагонов предприятия необходимо определить потребность по каждому их типу:

$$B_p = n_c T_{об} / 24, \quad (39)$$

где  $B_p$  — рабочий парк вагонов данного типа, шт.;

$n_c$  — суточная погрузка (количество загружаемых вагонов, шт.);

$T_{об}$  — время полного оборота, ч (время обработки вагона за один полный рейс с момента очередной погрузки до следующей).

Полный оборот должен совершаться за время, кратное суткам, чтобы обеспечить равномерную работу транспорта. Поэтому он может охватывать и простои вагонов, вызванные требованием суточной ритмичности. Если состав (вертушка) за 24 ч выполняет  $k$  рейсов, то

$$T_{об} = 24/k. \quad (40)$$

В отдельных случаях, когда оборот состава больше 12 ч, но меньше 16 ч, допускается ритм, соответствующий двум суткам.

**Пример.** Определить рабочий парк вагонов для выполнения постоянной перевозки, если  $n_c = 90$  шт., а расчетный оборот вертушки (без учета простоев по обеспечению ритмичности) равен 10 ч.

**Решение.** Поскольку указанный оборот меньше половины суток, примем число рейсов каждого состава за 24 ч следующее:  $k = 2$ . Тогда согласно формуле (40)  $T_{об} = 24 : 2 = 12$  ч.

Потребный рабочий парк вагонов данного типа  $B_p = 90 \cdot 12 : 24 = 45$  шт.

Заметим, что нередко технологией производства предусмотрена непрерывная подача вагонов под погрузку. Тогда парк  $B_p$  необходимо увеличить на 3—5 вагонов, которые обрабатываются в паузах между ходом груженой вертушки и поступлением порожней.

Инвентарный парк вагонов

$$B_{и} = B_p (1 + k_p + k_6), \quad (41)$$

где  $k_p$  — коэффициент резерва ( $k_p = 0,07$ );

$k_6$  — коэффициент, учитывающий ремонт вагонов ( $k_6 = 0,06—0,08$ ).

## § 91. Система ремонта вагонов и организация вагонного хозяйства

В процессе эксплуатации происходит естественный износ деталей вагонов, наблюдаются внезапные отказы их отдельных элементов, вызванные либо скрытыми дефектами, либо повреждениями при поездной работе, погрузочно-выгрузочных и маневровых операциях.

Главным способом восстановления работоспособности вагонов является планово-предупредительная система их ремонта через определенный период эксплуатации: предусматривается проведение заводских, депоовских, а в ряде случаев и профилактических ремонтов.

*Заводские ремонты* \* включают в себя полную разборку, освидетельствование узлов и деталей, смену вышедших из строя элементов и восстановление работоспособности остальных с параметрами, обеспечивающими нормальную эксплуатацию до следующих таких ремонтов при условии выполнения за истекшее время плановых депоовских и профилактических.

*Депоовские ремонты* предусматривают частичную разборку, восстановление быстро изнашиваемых деталей, ликвидацию накопившихся отказов и обеспечение работоспособности до следующих таких же ремонтов при условии осуществления профилактических.

*Профилактический ремонт* производится периодически для вагонов с тяжелыми условиями работы и имеет целью регулировку ме-

Таблица 17. Периодичность ремонта вагонов промтранспорта,  
обращающихся по путям МПС

Типы вагонов	Сроки ремонтов	
	заводского	депоовского
Получагоны, хопсеры-тозаторы и думкары	Через 12 лет после постройки или заводского ремонта, а проработавшие 20 лет и более — через 10 лет	Ежегодно, если это требуется по техническому состоянию. Вагоны на тележках с литыми боковыми рамами, а также новой постройки или прошедшие заводской ремонт подвергаются первому депоовскому ремонту через 2 года
Крытые вагоны, платформы, цистерны и другие типы общего назначения	Через 15 лет после постройки или заводского ремонта	То же
Вагоны для горячего агломерата и окатышей	Через 7 лет	То же
Цистерны для кислот	Через 6 лет	Ежегодно

Выполняются на вагоноремонтных заводах, а иногда — в соответствующем оборудованных депо.

Таблица 18. Периодичность ремонта вагонов промтранспорта, не эксплуатирующихся на путях МПС

Типы вагонов	Сроки заводского ремонта вагонов, находящихся в ведении министерств*		
	черной и цветной металлургии	тяжелого и транспортного машиностроения	угольной промышленности
Думпкары, платформы, хопперы для горячих грузов	Через 2 года	Через 3 года	—
Думпкары, полувагоны, платформы для тяжеловесных грузов, а также вскрышных пород, угля (руды и др.) с погрузкой экскаваторами или электромагнитными кранами	Через 3 года	Через 4 года	Через 4 года
Крытые вагоны, платформы, полувагоны, хопперы, думпкары, цистерны для грузов, не перечисленных выше	Через 6 лет	Через 6 лет	—

\* Депоовский ремонт этих вагонов производится ежегодно, а профилактический — один-два раза в квартал по распоряжению руководителя предприятия.

ханизмов разгрузки, обнаружение и устранение неисправностей. Разборке подлежат только ремонтируемые узлы.

При профилактическом ремонте, выполняемом в депо, простой вагона не должен превышать одной смены.

Межремонтные сроки устанавливаются министерствами, в ведении которых находится промышленный транспорт (табл. 17 и 18).

При необходимости вагоны подвергаются также текущему ремонту с целью устранения обнаруженных отказов, угрожающих безопасности движения и сохранности грузов или препятствующих нормальной эксплуатации.

Все работы по техническому содержанию рассматриваемого подвижного состава и производству плановых ремонтов осуществляются службами вагонного хозяйства предприятий, а на путях МПС — такими же службами отделений дорог. Те и другие, кроме того, выполняют техническую передачу магистральных вагонов при поступлении или убытии их с промтранспорта.

Вагонное хозяйство предприятия, имеющее также в своем распоряжении техническую базу (депо, ПТО\*, механизированные пункты текущего отцепочного ремонта), подчинено начальнику железнодорожного (транспортного) цеха.

Технологический подвижной состав не находится на балансе вагонного хозяйства. Восстановлением работоспособности таких вагонов занимаются службы главного механика предприятия.

\* Пункты технического обслуживания вагонов.

## § 92. Содержание вагонов в эксплуатации

*Пункты технического обслуживания вагонов* располагаются на железнодорожных станциях предприятий. К примеру, вагоны металлургического завода должны осматриваться на сырьевой, заводской сортировочной и других станциях, обслуживающих доменные, мартеновские, прокатные, литейные, ремонтные, шлакоперерабатывающие цехи.

Каждый пункт технического обслуживания имеет помещения для осмотрщиков и слесарей-ремонтников, кладовую запчастей и материалов, слесарно-механическое отделение. Если предусмотрено выполнение текущего отцепочного ремонта, на пункте выделяются и специально оборудуются пути для производства работ, отстоя неотремонтированных вагонов и для уже восстановленных.

Ремонтная площадка должна быть заасфальтированной, освещаемой в темное время суток, а также оборудованной линией электросварки, магистралью сжатого воздуха и громкоговорящей связью. На ремонтных путях устанавливаются гидравлические домкраты для подъема вагонов, устройства для механизации трудоемких работ и дистанционного ограждения восстанавливаемых транспортных средств. На междупутьях размещаются стеллажи для хранения запасных частей.

Такие же стеллажи имеются и на парковых путях, где выполняются операции безотцепочного ремонта вагонов. В расположенных здесь производственных помещениях предусматриваются механическое, кузнечное, столярное (при необходимости) и другие отделения, оснащенные соответствующими станками и оборудованием.

Прибывающий состав осмотрщики вагонов встречают на ходу и во время его проследования стремятся обнаружить и запомнить специфические неисправности, которые трудно заметить у стоящего поезда. Так, характерные периодические стуки об рельс колеса свидетельствуют об образовании на его поверхности выщербины или ползуна (протертой площадки вследствие заклинивания тормозов и длительного движения «юзом»).

После остановки состава и ограждения его сигналами для безопасного ведения работ начинается осмотр поезда с двух его сторон по направлению от хвоста к голове. При этом главное внимание уделяется тем узлам и деталям, отказы которых могут угрожать безопасности движения, не обеспечивать сохранности перевозимых материалов, препятствовать механизированной разгрузке вагона.

В правилах и инструкциях МПС, а также ряда министерств дано *перечисление отказов* (дефектов), при наличии любого из которых не разрешается использование вагонов и локомотивов: «Запрещается эксплуатировать подвижной состав с поперечной трещиной в любой части оси колесной пары, а также при следующих износах и повреждениях колесных пар, нарушающих нормальное взаимодействие пути и подвижного состава:

а) прокат по кругу катания у локомотива и моторного думпкара более 7 мм, у тендеров и грузовых вагонов — более 9 мм;

б) толщина гребня более 33 мм или менее 25 мм у локомотивов и моторных думпкаров при измерении на расстоянии 20 мм от вершины гребня, а у тендеров и вагонов — при измерении на расстоянии 18 мм от вершины гребня;

в) вертикальный подрез гребня высотой более 18 мм, измеряемый специальным шаблоном, изготовленным по чертежу МПС, или остроконечный накат гребня бандажа;

г) ползун (выбойка) на поверхности катания у локомотивов и моторных думпкаров с роликовыми буксовыми подшипниками — более 0,7 мм, с подшипниками скольжения — более 1 мм, а у вагонов с роликовыми буксовыми подшипниками — более 1 мм, с подшипниками скольжения — более 2 мм.

Запрещается эксплуатировать вагоны, у которых имеется хотя бы один из следующих дефектов:

а) неисправность колесной пары, требующая ее замены;

б) трещина в поясе тележки или на боковине литой тележки, излом наддрессорной балки или поперечной связи, обрыв колонного или буксового болта;

в) излом или изогнутость буксовой лапы;

г) излом рессорной державки;

д) излом хомута или листа рессоры, трещина в коренном листе рессоры;

е) неисправность автосцепки, поглощающего аппарата или тягового хомута автосцепного устройства;

ж) излом или трещина (выходящая с горизонтальной на вертикальную полку) хребтовой, боковой, шкворневой балок или буферного бруса;

з) неисправности обшивки или пола, а также запорного механизма люка у полувагона, угрожающие сохранности перевозимых грузов;

и) излом подбрюшного бруса цистерны;

к) сдвиг котла цистерны;

л) течь котла цистерны;

м) перекос кузова более 75 мм у крытых грузовых вагонов;

н) неисправность буксы, требующая ее замены, расплавленный или изломанный буксовый подшипник;

о) неисправность поручней или подножек;

п) суммарный зазор между скользящими с обеих сторон тележки более 20 мм или менее 2 мм у грузовых вагонов.

Кроме того, запрещается эксплуатировать думпкары, имеющие хотя бы одну из следующих неисправностей:

а) неисправность опрокидывающих цилиндров (трещины, ослабление крепления, утечки воздуха);

б) неисправность рычажного механизма опрокидывания и открытия продольного борта;

в) неисправность кранов управления;

г) утечка воздуха в опрокидывающей пневматической магистрали;

д) неисправность днища;

е) прогиб рамы кузова у думикаров с поднимающимися бортами, когда между днищем и бортом образуется зазор более 70 мм» [26, с. 81—88].

Поскольку содержание вагонов в эксплуатации осуществляется по обезличенной системе (за каждым из них не закреплен обслуживающий персонал), согласно ПТЭ составительские бригады и все работники транспортных цехов должны следить за технической исправностью вагонов, а осматривщики обязаны с особой внимательностью проверять, не имеют ли они перечисленных выше дефектов.

При обнаружении отказов или недостатков на вагонах делаются соответствующие меловые пометки, после чего выполняется текущий безотцепочный ремонт путем замены отказавших деталей, подтяжки ослабевших креплений, смазки трущихся шарниров и пр. В буксы с подшипниками скольжения добавляется масло. При необходимости проверяют работу разгрузочных механизмов и плотность пневмомагистралей. Слесари и осматривщики-автоматчики производят ремонт и опробывание автотормозов.

Если характер отказа таков, что его невозможно устранить за установленное время текущим безотцепочным ремонтом, осматривщики делают нужную пометку на вагоне и ставят в известность диспетчера о необходимости пересылки этого вагона к месту производства отцепочного ремонта.

Важной операцией является также *сезонная смена смазки* в буксах с подшипниками скольжения. С 20 сентября по 20 октября летнее осевое масло «Л» заменяют на зимнее «З», а с 10 апреля — наоборот. Кроме того, на предприятиях с низкими температурами в период с 1 декабря по 1 марта применяют северное осевое масло «С».

Необходимость сезонных смен смазки вызвана тем, что используемые масла сильно изменяют свою вязкость в зависимости от температуры. Несвоевременный переход на смазку «З» или «С» может привести к невозможности осуществить трогание поезда с места.

Технология работы *ПТО станций примыкания* к путям МПС имеет ряд особенностей. Все вагоны, поступающие на промышленное предприятие и возвращаемые обратно на железные дороги МПС, должны осматриваться с целью контроля за их техническим состоянием и предъявления в установленном порядке претензий к виновным в замеченных повреждениях.

По прибытии состава на заводские подъездные пути производится его ограждение и технический осмотр работниками ПТО предприятия и станции примыкания МПС. Обнаруженные неисправности записываются в натурные книги формы ВУ-15. Время осмотра одного вагона не должно превышать 1 мин, а всего поезда — 30 мин. В завершение указанные работники (те и другие) взаимно сверяют свои записи, которые должны быть тождественными.

Вагоны с неисправностями, угрожающими безопасности движения, или не обеспечивающие сохранности грузов, считаются не принятыми и возвращаются на ремонт.

Вагоны общего пользования, передаваемые с подъездных путей промышленного транспорта на станцию МПС, осматриваются таким же порядком. На вагоны, поврежденные во время эксплуатации на предприятии, составляются акты по форме ВУ-25.

На станциях, где разгрузка производится вагоноопрокидывателями, пункты технического обслуживания должны иметь повышенные запасы смазочных масел и механизированные установки для дозаправки ими бунков после осуществления операции выгрузки.

В организации работ по текущему содержанию изучаемого подвижного состава особо важное место должны занимать вопросы *техники безопасности*. Прежде всего выполняются ограждение переносными красными сигналами, располагаемыми на расстоянии 50 м от крайнего вагона \*. Кроме этого, в 25 м от него устанавливаются тормозные запирающие башмаки.

Снятие сигналов ограждения и уведомление о готовности поезда можно производить лишь после того, когда все работники удалены от состава.

Перед ремонтом думпиков и хопперов необходимо полностью выпустить воздух из разгрузочной магистрали, чтобы не допустить срабатывания механизмов разгрузки в результате случайного поворота рукоятки крана.

### **§ 93. Организация ремонта вагонов в депо**

Профилактический, депоовский, частично заводской и текущий отцепочный ремонт осуществляются в вагонном депо. Главная его задача — обеспечить высокий технический уровень и качество выполняемых работ. Для этого предусматриваются необходимые производственные площади, современное оборудование, квалифицированный персонал и должная организация труда.

Основными цехами депо являются сборочный (с окрасочным отделением) и тележечно-колесный. В первом из них производятся: разборка вагона, устранение дефектов несъемных деталей рамы и кузова, сборка вагона с применением отремонтированных и новых узлов, испытания механизма разгрузки, проверка работоспособности.

Из сборочного цеха выкаченные тележки поступают в тележечно-колесный, где осуществляют их разборку, переточку колесных пар, демонтаж и монтаж роликовых подшипников, ремонт литых деталей, испытания и контроль ответственных элементов, сборку отремонтированных тележек и пересылку последних в сборочный цех.

Ремонтно-комплектовочные цехи предназначены для восстановления работоспособности отдельных, снимаемых с вагонов деталей (автоматических тормозов и сцепок, поглощающих аппаратов, механизмов разгрузки и др.), а также для обеспечения собственных

---

\* На тупиковых путях красный сигнал ставится только со стороны стрелочного перевода в тупик.

мужд депо. В этих цехах (отделениях) практикуется агрегатный метод ремонта (поскольку узлы и детали вагонов в большинстве своем унифицированы), создается обменный фонд восстановленных элементов, что исключает сбой в работе основных цехов.

Известны два способа организации производства в изучаемых депо: стационарный и поточный. При первом из них вагон (или узел) ремонтируют без перемещений его внутри цеха. Поточный же метод предусматривает такое перемещение с определенным ритмом по существующим позициям, что позволяет:

- последовательно осуществлять запланированные работы;
- применять механизацию;
- специализировать исполнителей для конкретных технологических операций.

Производственный опыт вагонных депо МПС показал, что переход со стационарного на поточный способ обеспечивает сокращение продолжительности ремонта, снижение его себестоимости и повышение качества. Но поточный метод возможен только при ремонте однотипных вагонов с примерно равным объемом работ, что не всегда реально для депо предприятий. Тем не менее главными задачами в рассматриваемом случае являются:

- создание поточных и поточно-конвейерных линий в ремонтно-комплектовочных отделениях, а также на определенных нитках сборочных цехов;
- комплексная механизация производственных процессов;
- внедрение передовой технологии ремонта;
- повышение качества выпускаемой продукции.

## **Контрольные вопросы**

1. Какие вагоны относят к инвентарному и рабочему паркам предприятия? Каким способом определяют рабочий парк?
2. Назовите виды и периодичность планового ремонта вагонов.
3. Где расположены ПТО вагонов и какие работы они выполняют?
4. При появлении каких дефектов вагон должен быть исключен из эксплуатации?
5. Как организуются передача вагонов МПС на предприятие и их возврат?
6. Чем отличаются стационарный и поточный способы ремонта вагонов в депо?

## **Глава 28. АВТОТОРМОЗА**

### **§ 94. Назначение тормозов подвижного состава**

Тормозное оборудование подвижного состава включает в себя комплекс устройств, посредством которых можно искусственно создавать силу, направленную против движения локомотива, вагона или поезда в целом. Такая сила называется тормозной и служит для снижения скорости их перемещения либо полной остановки в соответствии с профилем пути и сигналами.

На современном железнодорожном транспорте применяются следующие виды торможения:

— ф р и к ц и о н н о е, образующееся путем создания силы трения непосредственно на поверхности катания колес подвижного состава или на специальных тормозных дисках, жестко связанных с колесными парами. В первом случае конструкция тормоза носит название колодочного, во втором — дискового;

— р е в е р с и в н о е, осуществляемое переключением тяговых двигателей электровозов и тепловозов на режим генераторов — источников тока. Данное торможение бывает рекуперативным, если вырабатываемая энергия возвращается в контактную сеть, и реостатным, когда эта энергия поглощается специальными резисторами с последующим рассеиванием ее в окружающую среду (в виде тепла);

— м а г н и т о р е л ь с о в о е, которое достигается следующим образом. В начале торможения башмаки с электромагнитами при помощи пневмоцилиндров опускаются до соприкосновения с рельсами, затем в катушки указанных магнитов подается постоянный ток. Под действием возникающего притяжения башмаки прижимаются к рельсам и скользят по ним с большим трением. Такие устройства могут работать одновременно с колодочными, обеспечивая интенсивное торможение и остановку поезда.

На подвижном составе в основном применяется *автоматический колодочный фрикционный тормоз*. В данном случае нажатие колодок на колеса локомотива и вагонов создается с помощью комплекса соответствующих приборов и устройств, действием которых руководит машинист. В настоящее время на промышленном транспорте эксплуатируются фрикционные тормоза с пневматическим управлением, автоматичность которых заключается в том, что при саморасцепе или разрыве поезда они затормаживают обе его части независимо от действия машиниста.

Наряду с автоматическими на локомотивах и части вагонов устанавливаются и ручные тормоза. Их привод осуществляется рукояткой или маховиком с винтом, усилие от которого через систему рычагов и тяг передается на фрикционные колодки, прижимаемые к колесам. Ручные тормоза используются для удержания локомотива (вагона) в неподвижном состоянии при отсутствии сжатого воздуха в тормозной магистрали, поэтому иногда их называют стояночными.

## **§ 95. Общее устройство и работа пневматического автотормоза**

Тормозное оборудование локомотива или вагона состоит из пневматической части и рычажной передачи. Первая из них представляет собой систему источников сжатого воздуха, пневматических приборов и соединяющих их трубопроводов. Все приборы унифицированы по типам, каждый из которых имеет свой условный номер. Рычажная передача, обеспечивающая прижатие тормозных колодок к колесам подвижного состава, — это ряд тяг и рычагов, образующих кинематическую цепь.



ста. Воздухораспределитель сообщает при этом запасный резервуар с магистралью, а тормозной цилиндр — с атмосферой. Под действием возвратной пружины шток поршня полностью утоплен в цилиндре, а рычажная передача удерживает колодки отведенными от колес.

Для приведения тормозов в действие краном машиниста понижают давление в трубопроводе 4, выпуская из него сжатый воздух в атмосферу. Этот процесс называют *разрядкой* магистрали. При частичной такой разрядке происходит *служебное* торможение, а при полной — *экстренное*.

Воздухораспределители срабатывают следующим образом (см. рис. 123, б): тормозные цилиндры 9 отсоединяются от атмосферы и в них подается сжатый воздух из запасных резервуаров 7. В результате давление в указанных цилиндрах повышется, рычажная передача перемещается, прижимая колодки 11 к колесам, и поезд начинает замедлять свой ход.

Если служебное торможение производится на длительном уклоне (например, при въезде в карьер), то может возникнуть опасность постепенной утечки воздуха через неплотности в системе «резервуар 7 — цилиндр 9», вследствие чего эффективность торможения снизится. Чтобы не допустить аварийного положения, в конструкции воздухораспределителя предусмотрено специальное устройство для подпитки сжатым воздухом цилиндра 9 из магистрали, которая при служебном торможении разряжена на 0,1—0,2 МПа и имеет достаточное давление. Это свойство автоматического тормоза называется *неистощимостью*, а сам он, обладающий таким качеством, — *прямодействующим*.

Во время отпуска тормозов давление в магистральном трубопроводе повышается. При этом из цилиндров 9 сжатый воздух уходит в атмосферу и одновременно пополняются им запасные резервуары. Пружины указанных цилиндров возвращают рычажную передачу в отпущенное положение. При разрыве магистрали (обрыве поезда) давление в ней понизится, что повлечет за собой экстренное торможение.

Прямодействующими автоматическими тормозами оборудованы весь подвижной состав грузового парка, обращающийся на железных дорогах общего назначения, а также локомотивы промтранспорта, вагоны карьерных хозяйств и те, которые имеют право выхода на пути МПС.

Часть вагонов внутризаводского и технологического транспорта не оборудована автотормозом. Большинство из них снабжено проблетными магистральными трубами для питания сжатым воздухом других вагонов состава. В связи с данным обстоятельством при поездной и маневровой работе особое значение приобретают эффективность и мощность тормозов локомотива. Поэтому на нем кроме главного крана 5 (рис. 124) устанавливается еще и *кран вспомогательного тормоза 3* (условный номер 254\*), с помощью которого

\* Далее сокращено: усл. № ...

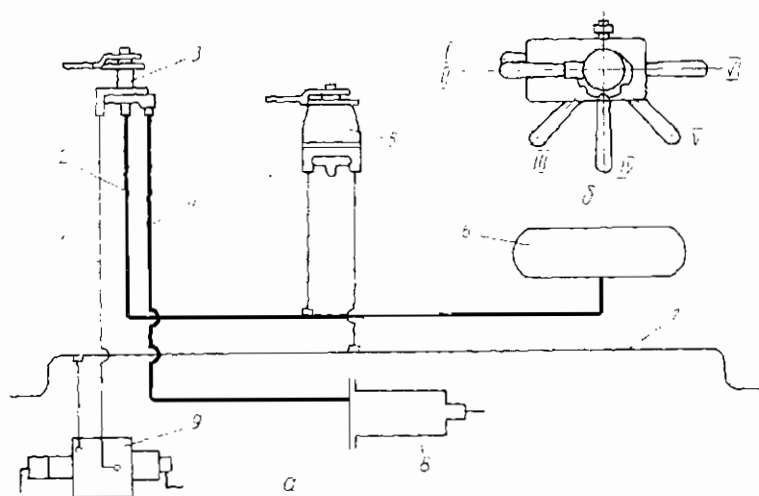


Рис. 124. Схема вспомогательного локомотивного тормоза.

можно привести в действие пневматический тормоз локомотива. К названному крану по трубопроводу 2 постоянно подведен сжатый воздух от главных резервуаров 6, а трубопроводом 4 этот же кран всегда соединен с тормозными цилиндрами 8.

При поворотах ручки крана 3 сжатый воздух поступает в цилиндры 8 и происходит торможение локомотива. Если оно выполняется главным краном 5, давление в магистрали 7 снизается, вследствие чего срабатывает воздухораспределитель 9, подавая воздух от запасного резервуара по трубопроводу 1 к крану 3. При этом без поворота его ручки автоматически соединяются трубопроводы 2 и 4; сжатый воздух поступает в тормозной цилиндр.

Ручку крана 3 можно поставить в пять положений (см. рис. 124, б):

I — отпуск тормоза. Трубопровод 4 соединяется с атмосферой, сжатый воздух выпускается из цилиндров 8. Ручку крана в этом положении нужно все время прижимать к упору рукой, так как сразу после освобождения она переместится пружиной в положение II;

II — поездное положение. Трубопроводы 2 и 4 перекрыты (если не выполняется торможение главным краном);

III — первая ступень торможения (давление воздуха в цилиндрах 8 локомотива поддерживается автоматически на уровне 0,1—0,13 МПа);

IV — вторая ступень торможения (то же при 0,17—0,2 МПа);

V — третья ступень торможения (то же при 0,27—0,3 МПа);

VI — четвертая ступень торможения (то же при 0,38—0,4 МПа).

## § 96. Компрессоры. Управление тормозами

Для получения сжатого воздуха локомотивы оборудуются компрессорами. В зависимости от типа приводного двигателя различают мотор- и дизель-компрессоры, устанавливаемые соответственно на электровозах и тепловозах.

Мотор-компрессоры работают от электродвигателей, автоматическое включение и выключение которых обуславливается давлением воздуха в главных резервуарах. Дизель-компрессоры приводятся в действие от вала дизеля и имеют устройства для периодического переключения в режимы: рабочий либо холостого хода.

Учитывая возможность внезапного отказа, на тепловозах (или электровозах) устанавливают по два компрессора, чтобы не допустить прекращения снабжения тормозов сжатым воздухом.

Локомотивы промышленного транспорта оборудованы различными типами компрессоров — с производительностью от 0,7 м³/мин (тепловозы ТГК2) до 5,8 м³/мин (тяговые агрегаты, тепловозы ТЭ2 и ТЭ3). Сжатие воздуха (рабочее давление составляет 0,8—0,85 МПа) происходит в их цилиндрах при помощи поршней.

Автоматическое включение и выключение компрессоров осуществляют специальные приборы — *регуляторы давления*.

Надежность действия тормозных приборов во многом зависит от качества сжатого воздуха. Он должен быть осушен, очищен от примесей и смазки. Понадание влажного атмосферного воздуха в тормозные трубопроводы приведет к появлению там ржавчины, которая во время движения размельчается от тряски и может проникнуть в указанные выше приборы (вызвать их порчу). Наличие влаги в зимний период становится иногда причиной образования ледяных пробок в магистрали.

Для осушения и очистки воздуха, поступающего в тормозные трубопроводы, предусматриваются охлаждение его после компрессии и механическое отделение конденсата с помощью специальных устройств. Дополнительному осушению воздуха способствует разность давлений в главном резервуаре и магистрали.

Управление тормозами локомотива осуществляется краном машиниста, расположенным в кабине и имеющим сложную конструкцию, обусловленную разнообразными требованиями к его работе. Локомотивы промышленного транспорта оборудуются кранами усл. № 394.

На верхнем градационном секторе крышки такого крана (рис. 125) есть углубления и выступы, в которых фиксируется шесть рабочих положений рукоятки:

I — зарядка и отпуск. Сжатый воздух из главных резервуаров поступает в магистраль, обеспечивая интенсивную ее зарядку и отпуск тормозов. Машинист следит за манометром и после достижения в ней давления выше 0,6 МПа переводит рукоятку во второе положение;

II — поспадное положение. В магистрали поддерживается постоянное давление;

III — перекрышка без питания магистрали. Проверяются утечки воздуха в системе тормозов поезда при их опробовании;

IV — перекрышка с питанием магистрали. Последняя получает от главных резервуаров столько воздуха, сколько нужно для поддержания в ней постоянного давления, уровень которого может быть разным, но примерно равным давлению в момент постановки рукоятки крана в данное положение;

V — служебное торможение. Происходит снижение давления в магистрали с темпом, обеспечивающим срабатывание автотормозов поезда;

VI — экстренное торможение. Воздух из магистрали интенсивно выпускается в атмосферу.

Управление тормозами поезда с помощью крана машиниста заключается в следующих основных операциях.

*Зарядка магистрали* осуществляется постановкой ручки в первое положение, при этом машинист должен следить за манометром «уравнительного резервуара»\*. Когда контролируемое давление достигнет около 0,6 МПа, ручку крана следует зафиксировать на второй позиции.

*Торможение* выполняется ступенями. Переводя ручку со второго положения в пятое, машинист наблюдает за падением давления по указанному выше манометру, пока оно не понизится на 0,07 МПа, после чего ручка должна занять четвертую позицию. Затем (при потребности повысить тормозной эффект) она снова переводится в пятое положение, и машинист повторяет предыдущую операцию.

Полное служебное торможение производится со снижением давления в магистрали до 0,17 МПа, экстренное — фиксированием ручки в шестом положении, а отпуск тормозов — постановкой ее в первую позицию с последующим переводом на вторую (как и при зарядке магистрали).

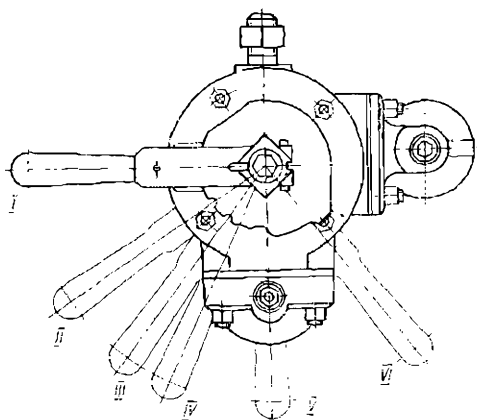


Рис. 125. Положения рукоятки крана машиниста усл. № 394.

## § 97. Устройство и работа воздухораспределителя

Воздухораспределитель — основной прибор автоматического тормоза, обеспечивающий исполнение команд, которые поступают к нему от крана машиниста через поездную магистраль.

\* Давление в этом резервуаре и поездной магистрали постоянно и автоматически поддерживается одинаковым.

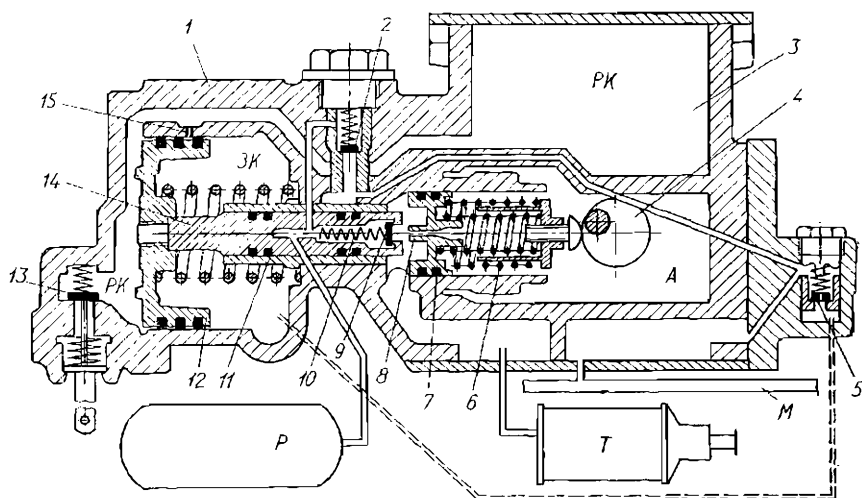


Рис. 126. Устройство воздухораспределителя усл. № 270—006.

Подвижной состав промышленного транспорта оборудован воздухораспределителями усл. № 270—002, 270—005 и 270—006 — сходными по конструкции и различающимися лишь так называемой магистральной частью, которая играет существенную роль при торможении длинносоставных поездов МПС, но практически не имеет значения для изучаемых нами локомотивов и вагонов. Поэтому в воздухораспределителе усл. № 270—006 (рис. 126), специально спроектированном для подвижного состава промтранспорта, магистральная часть заменена обратным клапаном 5.

Воздухораспределитель имеет главную часть 1, резервуар 3 и крышку с клапаном 5. В части 1 основными узлами являются главный поршень 12 с пружиной, которая стремится прижать его влево. Справа от этого поршня находится золотниковая камера (ЗК), а слева — рабочая (РК), сообщающаяся с резервуаром 3.

Поршень 12 соединен со штоком 14, который движется внутри латунной втулки 11 и имеет резиновые кольца на наружной поверхности, не позволяющие воздуху проникнуть в его среднюю пустотелую часть, постоянно связанную с запасным резервуаром Р (на рисунке воздушные каналы показаны схематично). Внутри штока есть клапан 9, прижатый пружиной 10 к седлу. Полость справа от данного клапана постоянно сообщается каналами с тормозным цилиндром Т.

В средней части рабочей камеры расположен вал с эксцентриком 4, соединенным снаружи воздухораспределителя с трубчатым валиком, который можно поворачивать вручную, устанавливая в три положения: груженный режим «Г», средний «С» и порожний «П». Это устройство называется переключателем режимов. Действие его заключается в том, что при первом из названных положений пружина 6 будет нажимать на уравнительный поршень 7 с

наибольшей силой, при втором — со средней и третьем — с малой. От величины нажатия в конечном итоге зависит давление в тормозном цилиндре.

Эксцентрик и пружины переключателя режимов размещены в полости, постоянно связанной с атмосферой А. В отверстии 8 штока поршня 7 давление также всегда равно атмосферному.

Вверху главной части имеется обратный клапан 2, перепускающий воздух снизу вверх. Пространство под этим клапаном постоянно сообщается с магистралью М, а над ним — с запасным резервуаром Р.

Наконец, справа установлен клапан 5, пространство над которым связано с магистралью М, а под ним — с золотниковой камерой (канал показан пунктиром). В данном клапане есть сквозное узкое отверстие, так что через него сжатый воздух из магистрали в упомянутую камеру поступает медленно, зато в обратном направлении — быстро, поскольку клапан приподымается.

При зарядке и отпуске давление в магистрали повышается. Срабатывание воздухораспределителя обеспечивает камера ЗК, которая через отверстие в клапане 5 заполняется сжатым воздухом и заставляет рабочий поршень 12 переместиться влево. При этом шток 14 передвинется вместе с ним, клапан 9 под нажатием пружины 10 закроется, и воздух из магистрали через клапан 2 поступит в резервуар Р. Тормозной цилиндр Т через отверстие 8 соединится с атмосферой А. В конце хода поршня 12 сжатый воздух из камеры ЗК через узкий канал 15 наполнит камеру РК, так что давление в них уравнивается, а поршень 12 останется в левом положении под воздействием своей пружины.

При торможении давление воздуха в магистрали падает быстрым темпом; одновременно уменьшается оно и над клапаном 5, вследствие чего последний приподымается и так же быстро начнет выпускать в магистраль воздух из камеры ЗК. При этом давление справа от поршня 12 понизится, тогда как слева, в камере РК, — останется высоким. В результате произойдет перемещение поршня 12 вправо с преодолением сопротивления пружины. Узкий канал 15 между золотниковой и рабочей камерами перекроется, и давление в последней будет повышенным вплоть до отпуска тормозов. Перемещаясь вправо, шток 14 вначале своим клапаном 9 упрется в шток поршня 7 и закроет отверстие 8, отсоединив таким образом цилиндр Т от атмосферы. Затем, поскольку нажатие пружин 6 больше, чем пружины 10, клапан 9 передвинется влево, и воздух из резервуара Р направится в цилиндр Т (т. е. произойдет торможение). Но по мере его заполнения возрастет давление слева на поршень 7, который вследствие этого в определенный момент переместится несколько вправо, а клапан 9 придавится пружиной 10 к седлу (указанные поршень и клапан остаются в данном случае прижатыми друг к другу, так что отверстие 8 в процессе торможения постоянно закрыто). Наступит прекращение подачи воздуха в цилиндр Т — перекрыша.

Как уже сказано, давление в этом цилиндре зависит от сжатия пружин 6. Ясно, что в режимах «Г», «С» и «П» оно будет соответственно наибольшим (торможение — высокоэффективным), меньшим и самым низким. Отсюда следует, что после разгрузки вагона переключатель режимов обязательно нужно переставить в положение «П» (иначе при торможении произойдет заклинивание колесных пар и их отказ по образованию ползунов), а после загрузки — зафиксировать его на позиции «Г» (ибо действие тормозов будет неэффективным).

При длительном торможении вследствие утечек давление в цилиндре Т понизится. Тогда уменьшится оно и слева поршня 7, который под влиянием пружин 6, сдвинется влево и откроет клапан 9, что вызовет повышение давления в тормозном цилиндре до прежней величины за счет поступления сюда воздуха из запасного резервуара. Когда давление в последнем станет ниже, чем в магистрали, обратный клапан 2 откроется и подзарядит этот резервуар (обеспечивается неистощимость тормоза).

Если машинист произвел новую ступень сброса давления из магистрали, то соответственно снизится оно в золотниковой камере, поршень 12 сдвинется правее, клапан 9 откроется и вызовет увеличение давления в цилиндре Т. При экстренном торможении тот же поршень переместится еще дальше — до упора.

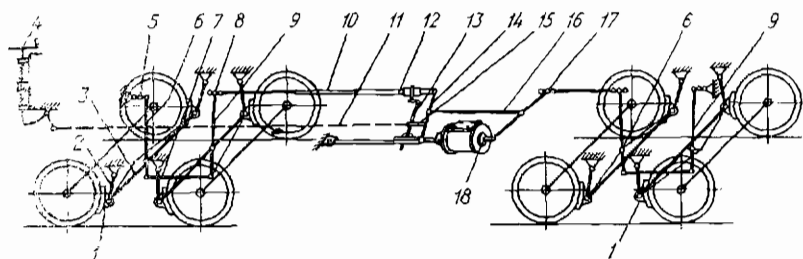
Если машинист повышает давление в магистрали (до нормы), то оно возрастает в камере ЗК, поршень 12 передвигается влево и осуществляется отпуск тормозов.

Часто после отсоединения вагона от поезда вследствие сброса давления в магистрали происходит срабатывание тормоза. Чтобы отпустить его, надо посредством имеющейся под кузовом проволоочной тяги потянуть за ручку выпускного клапана 13. При этом камера РК соединится с атмосферой, а поршень 12 переместится влево, обеспечивая требуемый отпуск.

## **§ 92. Рычажные тормозные передачи и авторегуляторы**

*Рычажная тормозная передача* представляет собой систему рычагов и тяг, посредством которых развиваемые по штоку тормозного цилиндра усилия передаются с определенным увеличением на колодки. По действию на колесные пары такие передачи бывают двустороннего и одностороннего торможения. Конструктивную специфику имеют вагонные, электровагонные и тепловозные рычажные передачи.

Развиваемое по штоку тормозного цилиндра 18 усилие (рис. 127) передается на рычаг 14, другой конец которого воздействует на тягу 10. Далее посредством рычагов 9 и 6, а также затяжки 7 оно сообщается удерживаемому на подвесках 2 триангелю 3, где насажены башмаки 1 с тормозными колодками. К правой тележке усилия передаются аналогично через затяжку 16. Отверстия 5, 8 и 17 в тягах и крошнейнах предусмотрены для того, чтобы сохранить величину хода поршня цилиндра 18 в установленных пределах



**Рис. 127.** Схема рычажной тормозной передачи вагона.

при износе колодок. Требуемая эта величина обеспечивается путем соответствующей перестановки валиков в различные отверстия.

Часть грузовых вагонов оборудуется ручным (стояночным) тормозом с винтом и рукояткой 4, усилие от которой передается на тягу 11 с удлиненной проушиной 15, от нее — на горизонтальный рычаг 14, а далее — теми же элементами, т. е. как описано выше.

В рычажных передачах грузовых вагонов предусматривается установка *автоматического регулятора хода поршня 12* с приводом *13*. Этот регулятор при износе колодок укорачивает тягу *10*, что обеспечивает неизменяемость величины хода указанного поршня.

## § 99. Порядок осмотра автотормозов в поездах и опробования тормозов

Контрольная проверка автотормозов в поездах выполняется на станциях, а при необходимости — и в пути следования.

На станции проверяются:

- плотность тормозной сети состава;
- правильность включения грузовых режимов торможения в соответствии с загрузкой вагона;
- положение тормозных колодок;
- действие авторегуляторов рычажной передачи;
- положение ручек концевых кранов соединительных рукавов;
- состояние ручных тормозов.

Контролируется также стабильность поддержания краном машиниста давления в тормозной магистрали при поездном положении рукоятки и при перекрыше. Затем производится полное опробование тормозов и выявляются не пришедшие в действие или самопроизвольно отпустившие воздухораспределители. Если при этом не будут устранены обнаруженные неисправности, несработавшие приборы снимают с вагонов и передают в автоконтрольный пункт для проверки на стенде.

Установлено два вида опробования автотормозов: полное и сокращенное. При первом проверяется состояние тормозной магистрали, плотность сети у всех вагонов и подсчитывается величина

нажатия колодок, а при втором — исправность работы той же магистрали по действию тормоза хвостового вагона.

*Полное опробование* выполняется следующим порядком. По сигналу осмотрщика-автоматчика машинист снижает давление в магистрали. При этом все тормоза должны сработать без самопроизвольного отпуска (пока он не будет произведен краном машиниста). Осмотрщики проверяют действие тормозов каждого вагона по выходу штоков соответствующих цилиндров и прижатию колодок к поверхности катания колес.

После того как машинист поставит ручку крана на отпуск, осмотрщики-автоматчики контролируют его также по каждому вагону.

При опробовании от локомотива машинист подает сигналы свистком: торможение — один короткий, отпуск — два коротких.

*Сокращенное опробование* автотормозов в поездах производится после прицепки локомотива к составу, а также разъединения или соединения рукавов.

По условному знаку лица, отвечающего за опробование, машинист подает один короткий сигнал и снижает давление воздуха в магистрали на установленную величину. После того как действие автотормоза хвостового вагона будет проверено, машинист подает два коротких сигнала и отпускает тормоза постановкой ручки крана в первое положение с последующим переводом ее во второе.

Исправность работы магистрали контролируется также по отпуску тормозов последнего вагона.

## Контрольные вопросы

1. Какие виды торможения применяются на железнодорожном транспорте?
2. Из каких частей состоит тормозное оборудование локомотива и вагона?
3. В чем заключается неустойчивость тормоза?
4. Как работает вспомогательный тормоз локомотива?
5. Для чего служат компрессоры?
6. Какие положения имеет кран машиниста усл. № 394?
7. Как работает воздухораспределитель при зарядке и отпуске, а также при торможении?
8. Как устроена рычажная тормозная передача?
9. Как производится опробование автотормозов?

## Раздел третий

### ТЯГА ПОЕЗДОВ

#### Глава 29. ЗАДАЧИ ТЯГОВЫХ РАСЧЕТОВ. СИЛА ТЯГИ. ТЯГОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛОКОМОТИВОВ

#### § 100. Задачи и способы выполнения тяговых расчетов

При помощи тяговых расчетов определяют нормальную массу поезда, его скорость, время хода по перегонам и оптимальные режимы вождения, расход электроэнергии, топлива и воды, а также производят расчет тормозов, выбирают тип и важнейшие параметры локомотива, обосновывают требования к путевому и вагонному хозяйству по уменьшению сопротивления движению.

Выполнение тяговых расчетов «вручную» связано со значительными затратами времени и труда. Поэтому на промышленном железнодорожном транспорте все шире применяют электронные цифровые вычислительные машины (ЭЦВМ), позволяющие решать уравнение движения поезда значительно быстрее и практически с любой степенью точности.

Чтобы осуществить тяговые расчеты на ЭЦВМ, необходимо составить программу — записанную на специальном алгоритмическом языке последовательность арифметических и логических операций, которые должны выполняться в процессе решения. Составление и отладка таких программ — сложная и трудоемкая процедура. На вычислительных центрах обычно используют заранее подготовленные стандартные программы производства тяговых расчетов, которые могут применяться многократно. Они записаны на магнитные ленты либо занесены в долговременную память машины.

Для выполнения конкретных тяговых расчетов в цифровые ЭВМ вводятся исходные данные, содержащие информацию о локомотиве, составе и профиле пути. Затем по стандартной программе автоматически производятся все операции, необходимые для решения задачи. Высокое быстродействие современных ЭЦВМ позволяет за короткое время осуществить расчеты и выбрать оптимальный (наилучший) режим ведения поезда.

Результаты тяговых расчетов машина выдает в виде таблиц и графиков, напечатанных на бумажной ленте. Здесь указываются режим движения (тяга, выбег, торможение), время хода поезда, путь, скорость, температура обмоток двигателей, расход электри-

ческой энергии или топлива. Эти материалы используются для составления графика движения поездов, проверки использования мощности локомотива и др.

## § 101. Сила тяги на ободе колеса

Поезд — это система материальных тел (локомотивов и вагонов), имеющих упругие связи (автосцепки с поглощающими аппаратами) и жесткие (колеса и рельсы \*).

Движение состава по отношению к рельсам (и другим неподвижным предметам) в теории тяги поездов рассматривается как поступательное, при котором все его точки имеют одинаковые скорости. При упрощенных же расчетах во внимание принимается движение центра тяжести материальной системы (поезда), на которую действуют как внешние, так и внутренние силы, отличающиеся и по своей величине, и по направлению.

Внешние силы по отношению к поезду — это его вес, реакции от рельсов и влияние воздушной среды, а внутренние — взаимодействие между отдельными вагонами.

Внутренние силы любой материальной системы являются силами парными, одинаковыми по величине, совпадающими по линии действия и противоположно направленными. Их равнодействующая и результирующий момент относительно какой-либо оси всегда равны нулю. Поэтому центр тяжести материальной системы (или тела) не будет перемещаться в пространстве под влиянием внутренних сил — движение возможно только под действием внешних.

Практически рассматриваются только те внешние силы или их составляющие, которые действуют на поезд по направлению его перемещения. К ним относятся:

1) сила тяги  $F$ , передающаяся от локомотива на поезд;

2) сила сопротивления движению подвижного состава  $W$ , которая вызывается трением в его ходовых частях, ветром и другими естественными причинами.

3) тормозная сила  $B$ .

Эти силы могут действовать на поезд в следующих комбинациях:

а) силы  $F$  и  $W$  — при движении в режиме тяги;

б) только сила  $W$  — при движении на «выбеге»;

в) силы  $B$  и  $W$  — в процессе торможения.

Движение локомотива основано на взаимодействии колес с рельсами (рис. 128). На колесную пару передается вращающий момент  $M$ , ко-

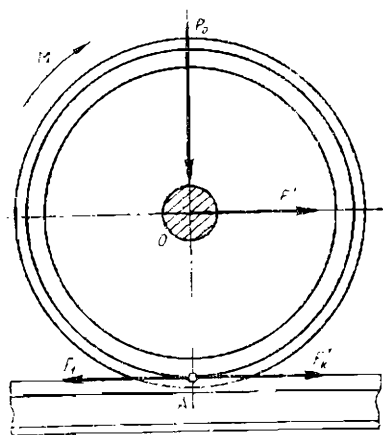


Рис. 128. Схема образования силы тяги локомотива.

\* Без учета их упругости.

торый можно представить в виде двух сил —  $F'$  и  $F_1$ . Первая из них, направленная в сторону движения, приложена к центру  $O$ , а вторая — к ободу колеса в точке касания его с рельсом  $A$ . Силы  $F'$  и  $F_1$ , являясь внутренними по отношению к локомотиву, не могут вызвать его движение: необходимо еще сцепление с внешней опорой — рельсом, на который каждая колесная пара давит с определенной силой  $P_0$ , равной собственному весу и части веса локомотива, приходящейся на данную колесную пару. Из-за этого в точке  $A$  и возникает указанное сцепление.

При вращении колеса под воздействием сил  $F$  и  $F_1$  образуется горизонтальная реакция рельса  $F_K'$ , равная по величине силе  $F_1$  и направленная в противоположную сторону. Она создает «упор», из-за которого колесо «отталкивается» от рельса. Силы  $F_1$  и  $F_K'$  взаимно уравновешиваются.

Неуравновешенная сила  $F'$  передается деталям локомотива в такой последовательности: ось — букса — рама тележки — рама кузова (если конструкцией предусмотрено восприятие ею продольных нагрузок) — автосцепка. Так возникает сила тяги локомотива, способная привести его в движение только при наличии реакции рельса  $F_K'$ , которую называют *касательной силой тяги* (или силой тяги на обод колеса). Суммарная такая сила (от всех колес) создает силу  $F_K$ , называемую *силой тяги по сцеплению* (или силой сцепления).

Итак, **сила тяги** — это создаваемая двигателем локомотива во взаимодействии с рельсами управляемая внешняя сила, приложенная к движущим колесам данного локомотива в направлении его перемещения.

Кроме силы  $F_K$  различают также силу тяги по автосцепке  $F_{\text{д}}$  (иногда она называется динамометрической), которая определяется из условия, что ее работа за оборот движущих колес равна работе касательной силы тяги без учета сил сопротивления, возникающих при движении локомотива в его экипаже за это время.

Среднее значение условной силы, которая за один оборот колес совершает работу, по величине эквивалентную работе отдельных сил сопротивления в экипаже, называется сопротивлением движению локомотива. В общем случае

$$F_d = F_K - W' \pm F_{\text{кз}}, \quad (42)$$

где  $W'$  — сопротивление движению локомотива, Н;

$F_{\text{кз}}$  — часть касательной силы тяги, затрачиваемая на создание ускорения локомотива или возникающая вследствие инерции при замедленном его движении, Н.

При ускоренном движении величина  $F_{\text{кз}}$  принимается со знаком «минус», замедленном — с «плюсом» и при равномерном — равной нулю.

## § 102. Закон сцепления

Силу тяги локомотива регулирует машинист, изменяя величину тока (электровоз) или подачу топлива (тепловоз). Но данная сила ограничивается условиями сцепления колес с рельсами. Поэтому увеличивать ее можно до некоторого предела, который определяется следующей зависимостью:

$$F_k = \Psi P g, \quad (43)$$

где  $\Psi$  — коэффициент сцепления колес с рельсами (близок к коэффициенту трения покоя:  $\Psi \approx \varphi_0$ );

$P$  — сцепная масса локомотива;

$g$  — ускорение земного тяготения.

При соблюдении приведенного выше условия колесо катится по рельсу без проскальзывания. Точка  $A$  (см. рис. 128) является мгновенным центром его вращения. Если же касательная сила  $F_k$  превысит силу сцепления  $\Psi P g$ , начнется боксование, из-за которого резко падает величина  $F$ , так как значительно уменьшается сила сцепления локомотива.

Для нормального движения поезда необходимо, чтобы  $F_k \leq \Psi P g \approx \varphi_0 P g$ .

Данное положение является *основным законом локомотивной тяги* или *законом сцепления*, который формулируется следующим образом: для обеспечения устойчивости управляемого движения локомотива нельзя допускать превышения касательной силы тяги, создаваемой двигателями, над силой сцепления движущих колес с рельсами.

## § 103. Коэффициент сцепления колес с рельсами, способы его повышения

Величина коэффициента сцепления  $\Psi$  изменяется в зависимости от погоды, материала, состояния поверхностей рельсов и колес, от скорости движения локомотива. Возрастает она при сильном дожде, чистых сухих рельсах и колесах, а уменьшается при их загрязнении, слабом морозящем дожде, повышении скорости и при движении по кривым (особенно малого радиуса) вследствие проскальзывания колес, которые проходят разные расстояния по наружному и внутреннему рельсам.

Сцепление локомотива увеличивают посыпкой рельсов песком при трогании с места, во время преодоления трудных участков пути и при боксовании колес. Особенно важно применять песок в первом случае, ибо в момент трогания величина силы тяги значительно большая, чем при движении поезда.

В практике используют расчетный коэффициент сцепления  $\Psi_k$ , величина которого определена для различных эксплуатационных условий. При тяге для грузовых локомотивов он устанавливается по следующим эмпирическим формулам:

а) для электровозов постоянного тока и тепловозов

$$\Psi_k = 0,25 + \frac{8}{100 + 20v}, \quad (44)$$

где  $v$  — скорость движения поезда, км/ч;

б) для электровозов переменного тока:

— при  $v$  от 0 до 40 км/ч

$$\Psi_k = 0,228 + \frac{7}{53 + 3v}, \quad (45)$$

— при  $v$  свыше 40 км/ч

$$\Psi_k = 0,09 + \frac{95}{413 + 3v}. \quad (46)$$

При трогании локомотивов с места расчетный коэффициент сцепления принимается:

— для тепловозов и электровозов постоянного тока  $\Psi_k = 0,33$ ;

— для электровозов переменного тока  $\Psi_k = 0,36$ .

Этот же коэффициент при движении с установившейся скоростью 15—20 км/ч (к примеру, на расчетном подъеме) колеблется в следующих пределах: при сухих и чистых рельсах  $\Psi_k = 0,24—0,29$ , а при мокрых  $\Psi_k = 0,18—0,19$ .

При трогании и разгоне поезда (от 0 до 10 км/ч) значение  $\Psi_k$  изменяется так: при сухих и чистых рельсах  $\Psi_k = 0,26—0,30$ , а при мокрых  $\Psi_k = 0,19—0,25$ .

При движении локомотива по кривой радиуса  $R < 500$  м

$$\Psi_{k,кр} = \Psi \frac{250 + 1,55R}{500 + 1,1R}. \quad (47)$$

Произведение сцепной массы локомотива  $P$  (т) на коэффициент  $\Psi_k$  и ускорение земного тяготения  $g$  (м/сек<sup>2</sup>) называется *расчетной силой тяги по сцеплению* (Н), которая широко используется в расчетах:

$$F_k = 1000 \Psi_k P g. \quad (48)$$

## § 104. Сила тяги локомотива

Любой локомотив превращает энергию во внешнюю работу силы тяги. Так, энергия, подводимая к электровозам постоянного тока контактной сетью, преобразуется в тяговых двигателях во внутреннюю механическую работу вращения якорей и зубчатых передач, которая затем видоизменяется во внешнюю — на обода движущих колес.

На электровозах переменного тока подводимый ток трансформируется в постоянный или переменный с другими параметрами, т. е. здесь могут быть две или три стадии преобразования энергии.

На тепловозе с гидромеханической передачей термохимическая энергия топлива превращается во внутреннюю механическую ра-

боту на валу дизеля, которая при помощи передаточного механизма преобразуется во внутреннюю работу вращения двужущих колес, а затем — во внешнюю механическую (на их ободах), т. е. в данном случае имеется три стадии трансформирования первичной энергии.

В соответствии со стадиями превращения энергии установлен ряд понятий о силе тяги и ее применении. В электровозах различают:

- силу тяги по тяговым двигателям, т. е. наибольшую такую силу, развиваемую ими при данной скорости движения;

- силу тяги по сцеплению.

Для электровозов нет ограничений силы тяги по источнику тока: его поступление через контактную сеть практически не лимитируется.

В тепловозах различают:

- силу тяги по дизелю, т. е. максимальную, которую он способен создать при данной скорости движения;

- силу тяги по передаче, или наибольшую, которая может быть передана от дизеля на движущие колеса;

- силу тяги по сцеплению.

Все преобразователи энергии должны иметь примерно равную мощность (силу тяги), так как уменьшенная такая мощность по одному из преобразователей приведет к ограничению использования локомотива в целом.

### **§ 105. Тяговые характеристики электровозов, тяговых агрегатов, тепловозов**

Тяговой характеристикой локомотива называют графическую зависимость силы тяги  $F_k$  от скорости  $v$  при различных режимах регулирования в пределах допускаемых ограничений.

Наибольшая величина  $F_k$  требуется от локомотива при трогании с места, разгоне и преодолении крутых подъемов. При движении поезда по участкам с переменным профилем пути малым скоростям должна соответствовать большая сила тяги, а повышенным — меньшая. Данному условию удовлетворяет в идеальном случае зависимость  $F_k(v)$ , изменяющаяся по закону равноплечей гиперболы (кривая  $B$  на рис. 129, *а*). При этом обеспечивается полное использование силы тяги локомотива в широких диапазонах скоростей, так как касательная мощность его  $N_k$  остается постоянной величиной (линия  $D$  на рис. 129, *б*), что особенно важно для автономных локомотивов, несущих на себе первичный генератор энергии, т. е. когда он работает на полную мощность при всех режимах.

Кроме того, тяговая характеристика в виде гиперболы автоматически поддерживает данный режим работы локомотива: при увеличении сопротивления скорость падает, а сила тяги возрастает, что обеспечивает преодоление этих сопротивлений. Затем скорость снова повышается до прежней величины.

Тяговая характеристика локомотива, удовлетворяющая условиям равноплечей гиперболы ( $F_R v = \text{const}$ ), является идеальной.

Пересечение кривой предельной силы тяги тепловоза по сцеплению  $F_{\text{лmax}}$  с указанной гиперболой даст точку выхода на автоматическую характеристику. При малых значениях  $v$  мощность локомотива практически прямо пропорциональна скорости движения, при больших — она постоянная.

Для электровозов, получающих энергию извне в неограниченном количестве, наличие подобной характеристики не обязательно, так как при ней неизбежны будут относительно малые величины  $v$  по трудным элементам профиля пути и быстрое падение силы тяги при возрастании этих величин, что снижало среднюю скорость движения поезда на участке.

Построение описанных графических зависимостей возможно не только на основе испытаний локомотивов, но и при помощи электрохимических характеристик тяговых двигателей. Так называются кривые изменения силы  $F_R$  и скорости  $v$  в зависимости от тока двигателя  $I_d$  (рис. 130).

Данные характеристики могут быть отнесены к валу двигателя или к ободу движущих колес. В последнем случае строят тяго-

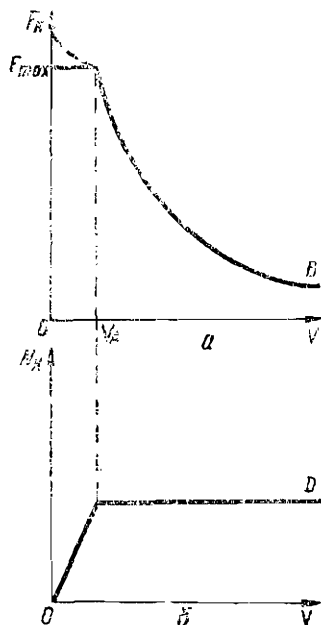


Рис. 129. Тяговая характеристика идеального тепловоза:

$a$  — сила тяги;  $b$  — касательная мощность.

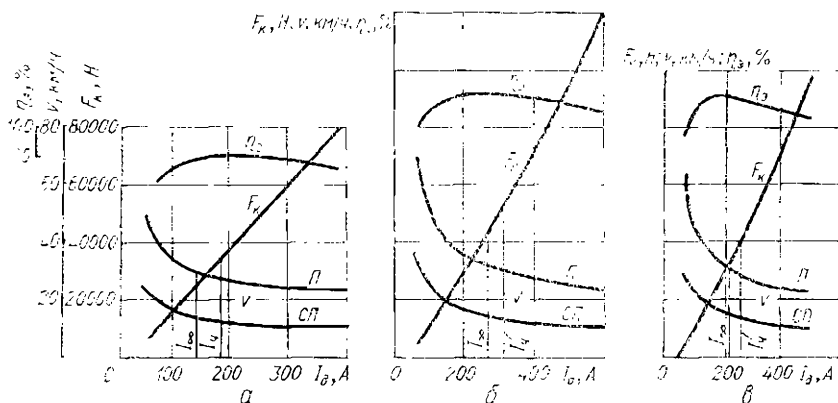


Рис. 130. Электрохимические характеристики тяговых двигателей электровозов 21Е (а), 26Е (б), EL1 и EL2 (в). Кривые скорости построены для параллельного (П) и последовательно-параллельного (СП) соединения двигателей.

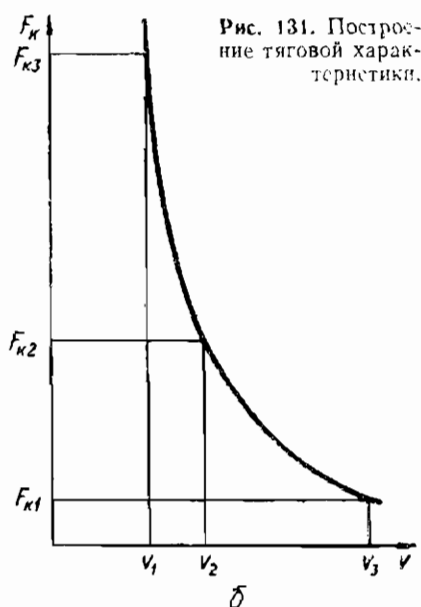
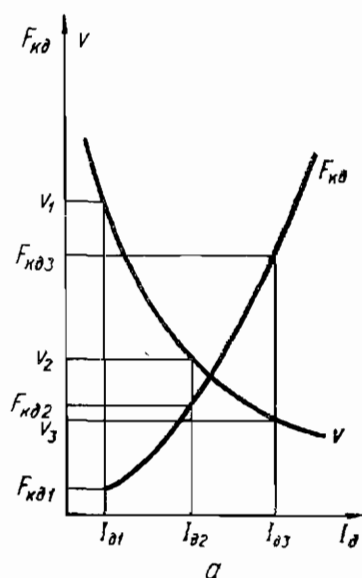


Рис. 131. Построение тяговой характеристики.

вую характеристику всего электровоза. Например, величинам тока  $I_{\delta 1}$ ,  $I_{\delta 2}$ ,  $I_{\delta 3}$  (рис. 131, а) соответствуют скорости  $v_1$ ,  $v_2$ ,  $v_3$  и силы тяги  $F_{k\delta 1}$ ,  $F_{k\delta 2}$ ,  $F_{k\delta 3}$ . Координатами точек искомой кривой  $F_k v$  будут:  $F_{k1} = m F_{k\delta 1}$  и  $v_1$ ;  $F_{k2} = m F_{k\delta 2}$  и  $v_2$ ;  $F_{k3} = m F_{k\delta 3}$  и  $v_3$  (здесь  $m$  — число тяговых электродвигателей). Найденные значения  $v_1$ ,  $v_2$ ,  $v_3$  откладывают по оси абсцисс (см. рис. 131, б), а силы тяги  $F_{k1}$ ,  $F_{k2}$ ,  $F_{k3}$  — по оси ординат. По полученным точкам строят кривую — тяговую характеристику локомотива.

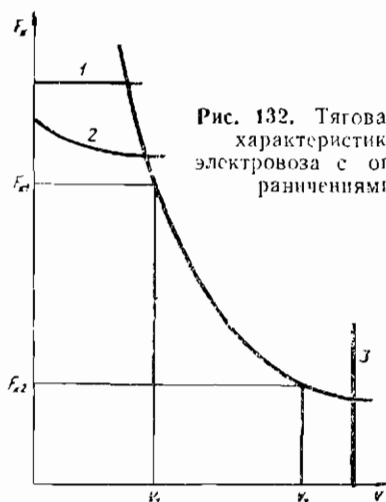


Рис. 132. Тяговая характеристика электровоза с ограничениями.

Вид рассматриваемых графических зависимостей обуславливается типом двигателя и его параметрами. На тяговые характеристики электровоза наносят ограничивающие линии 1, 2 и 3 (рис. 132) соответственно по надежной коммутации двигателей, сцеплению и по максимально допустимой скорости.

Сила тяги по сцеплению определяется по формуле (48) и зависит от нагрузки колесной пары на рельсы, коэффициента  $\Psi$  и конструкции локомотива. Так, сила сцепления возрастает при увеличении диаметра колес. При подаче песка под них коэффициент  $\Psi$  повышается.

Ограничение по условиям комму-

тации (в отношении электровозов оно обычно располагается выше ограничения по сцеплению и на тяговые характеристики не наносится) связано с тем, чтобы при наибольшем токе двигателя не появлялось искрение на его коллекторе, которое может перейти в круговой огонь. Максимальный ток не должен превышать двойного значения тока часового режима  $I_{\text{ч}}$ , при котором электрическая машина способна работать в течение 1 ч (напряжение — номинальное) с действующей вентиляцией и без превышения температуры какой-либо своей части.

Практически наибольший ток по коммутации берут в пределах 1,4—1,7 от номинального. Ограничение по току — это кривая предельных значений силы тяги, определяемых по электромеханическим характеристикам двигателей при максимально допустимом токе.

Полная тяговая характеристика для электровоза состоит из семейства кривых зависимостей силы тяги  $F_k$  от скорости  $v$ . Здесь же может быть нанесена и токовая характеристика  $F_k(I_{\text{эл}})$ .

На рис. 133—136 приведены в качестве примеров совмещенные (те и другие) характеристики для локомотивов серий ЕЛ2, 21Е, Д94 и тягового агрегата ПЭ2. Показаны кривые для последовательного, последовательно-параллельного и параллельного соединений двигателей. Если допускается работа при уменьшенном их магнитном потоке, построены также кривые ослабленного поля ОП. Величины  $F_k$  для некоторых типов тяговых агрегатов даны в табл. 19.

Если нет характеристик двигателя для электровоза, расчет можно вести по универсальной характеристике соответствующих карьерных локомотивов (рис. 137), которая представляет собой графическую зависимость силы тяги и скорости движения от тока  $I_{\text{эл}}$ , выраженную в относительных величинах, причем за 100% приняты часовые значения всех трех параметров —  $F_k$ ,  $v$  и  $I_{\text{эл}}$ . Действительные такие их значения для заданного электровоза принимают за 100%, а все текущие — определяют по процентам, указанным на осях координат.

Сила тяги тепловозов ограничивается двигателем внутреннего сгорания, передачей и сцеплением движущих колес с рельсами. Вид тяговой характеристики этих локомотивов в основном зависит от типа и параметров передачи.

Тяговые характеристики тепловозов с электрической передачей выражают зависимость силы  $F_k$  от скорости движения на каждой позиции контроллера. На рис. 138 показаны такие характеристики для тепловоза ТЭЗ, имеющего 16 названных позиций, режимы работы двигателей с полным возбуждением (СП) и с двумя ступенями ослабления поля (ОП1, ОП2). В числителе даны величины  $F_k$  для одной секции локомотива, а в знаменателе — для двух.

Специальными кружками (см. рис. 138) обозначаются автоматические переходы с одного режима работы тяговых электродвигателей на другой. Трогание с места и разгон тепловоза ТЭЗ до 29,5 км/ч выполняются в режиме неослабленного (сильного) поля

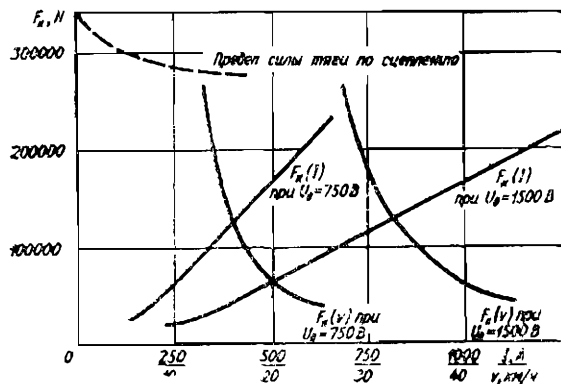


Рис. 133. Тяговые и токовые характеристики электровоза серии EL2.

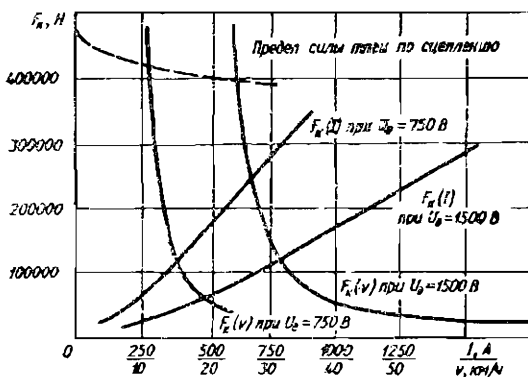


Рис. 134. Тяговые и токовые характеристики электровоза серии 21E.

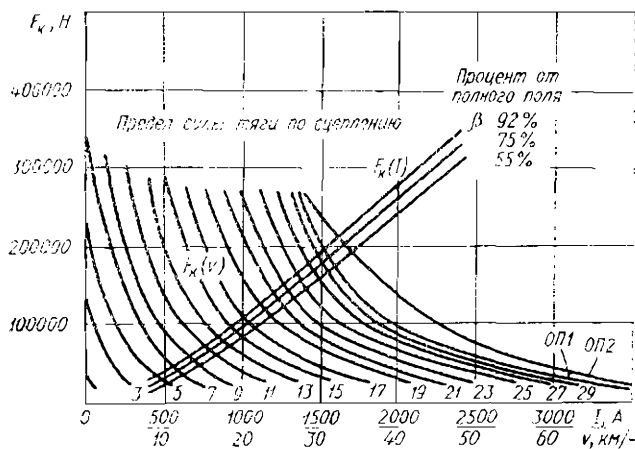


Рис. 135. Тяговые и токовые характеристики электровоза переменного тока серии Д94 (построены для различных позиций контроллера машиниста).

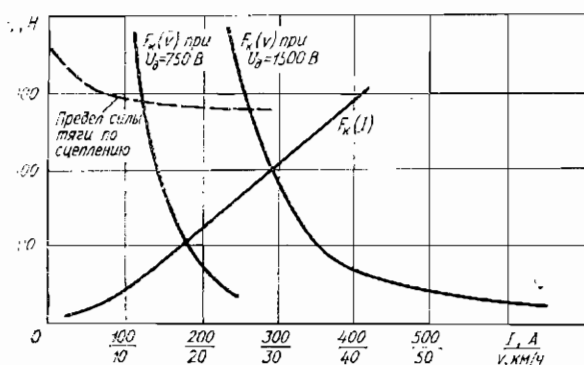


Рис. 136. Тяговые и токовые характеристики одной секции тягового агрегата постоянного тока серии ПЭ-2 (с грузом).

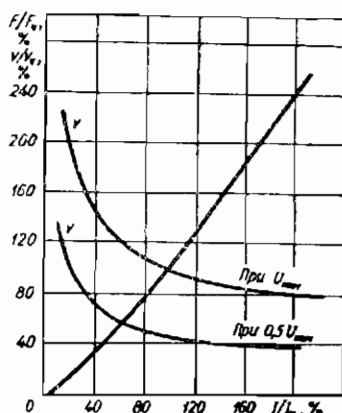


Рис. 137. Универсальные характеристики карьерных электровозов.

СП. Затем при достигнутой скорости (29,5 км/ч) двигателя переключаются для работы в режиме ослабленного поля ОП1, а при  $v = 51,5$  км/ч — в режиме ОП2.

При уменьшении скорости движения тепловоза осуществляются обратные переходы с ОП2 на ОП1 при  $v = 35,5$  км/ч и с ОП1 на СП при  $v = 24$  км/ч. При некоторых величинах  $v$  на одной и той же позиции контроллера двигателя будут работать в режимах СП или ОП1 в зависимости от того, увеличивается или снижается скорость движения. В таких случаях определяют силу  $F_k$  для обоих режимов и вычисляют среднее ее значение.

Таблица 19. Величины сил тяги, развиваемых промышленными тяговыми агрегатами

Тип агрегата	Марка агрегата	Снежная масса, т	Ток, напряжение	Расчетная скорость $v_p$ , км/ч	Расчетная сила тяги при движении со скоростью $v_p$ , Н	Сила тяги при трогании с места на $\mu$ путях, Н
С одним моторным думпкаром	—	220	Постоянный, 1500 В	28	500000*	600000
С двумя моторными думпкарами	ПЭ2	360	Постоянный, 3000 В	28	830000	1080000
То же	EL10	360	Переменный, 10000 В	27	900000*	1200000
С дизельной секцией (1470 кВт) и одним моторным думпкаром	ОПЭ1	360	Переменный, 10000 В	25	910000	1200000

\* Выбранная по приведенной расчетной силе тяги масса поезда подлежит обязательной проверке по условиям нагревания тяговых электродвигателей.

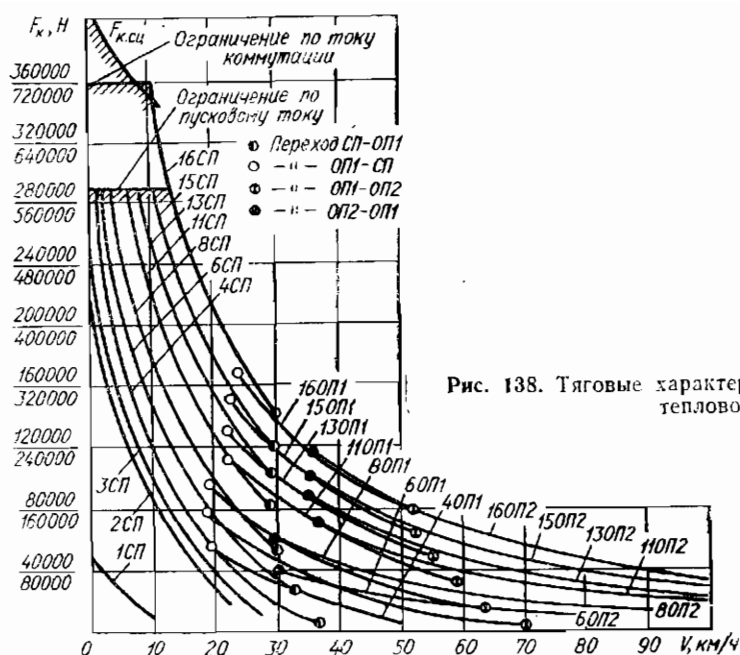


Рис. 138. Тяговые характеристики тепловоза ТЭЗ.

Например, для скорости 25 км/ч в режиме 16СП  $F_k = 337200$  Н, а в режиме 16ОП1  $F_k = 324500$  Н. Среднее значение  $F_k$  на 16-й позиции контроллера

$$F_k = \frac{337200 + 324500}{2} = 330850 \text{ Н.} \quad (49)$$

Тяговые характеристики при гидравлической передаче определяются ее принципиальной схемой и к. п. д. для каждой ступени скорости, параметрами дизеля и гидромашин, а также общими передаточными числами. В отношении всего тепловоза данные характеристики представляют собой график зависимости силы тяги и скорости, которые построены для нескольких гидравлических агрегатов в отдельности и сопряжены в точках переключения ступеней скорости в порядке регулирования режимов движения поезда.

На рис. 139 приведены характеристики тепловоза ТГМ1, у которого разгон производится на гидротрансформаторе I, движение со средними скоростями — на первой гидромуфте II, а с высокими — на второй III. Поэтому при малых величинах  $v$  с использованием гидротрансформатора тяговая характеристика представляет собой гиперболу, а при средних и высоких — она ступенчатая.

Тяговая характеристика при работе в маневровом режиме обозначена как  $F_k^м$ , а в поездном —  $F$ . На рисунке, кроме того, по-

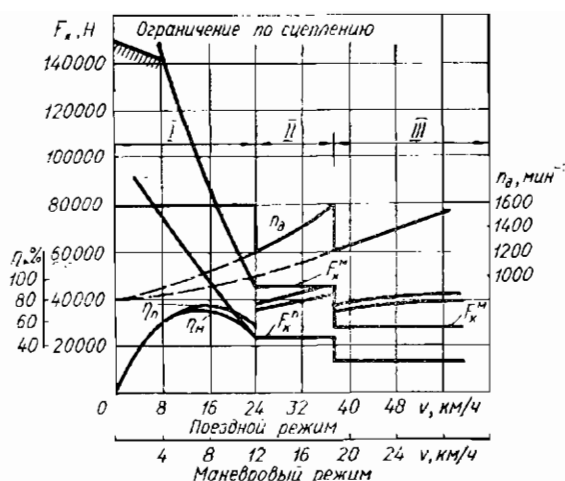


Рис. 139. Тяговые характеристики ТГМ1 с гидро-передачей.

казано изменение к. п. д. тепловоза —  $\eta_m$  и  $\eta_n$  (соответственно маневровый и поездной режимы), а также частоты вращения двигателя  $n_d$ .

Примеры тяговых характеристик тепловозов ТГМ4, ТГМ6А и ТЭМ2 даны на рис. 140—142.

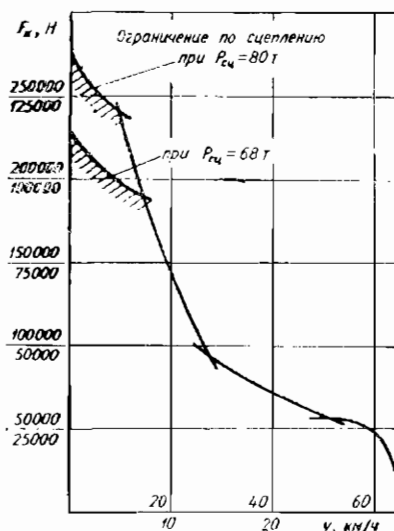


Рис. 140. Тяговые характеристики тепловоза ТГМ4 (в числителе — для маневрового режима, в знаменателе — для поездного).

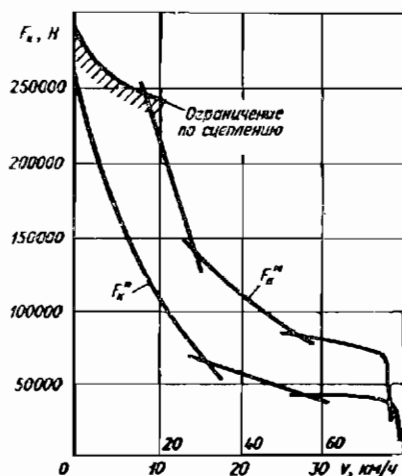


Рис. 141. Тяговые характеристики тепловоза ТГМ6А.

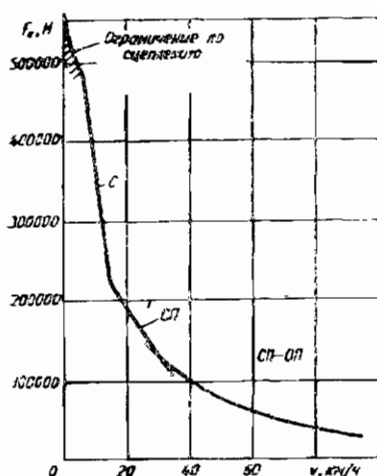


Рис. 142. Тяговые характеристики тепловоза ТЭМ2 (С — последовательное соединение тяговых двигателей, СП — последовательно-параллельное, СП—ОП — с ослаблением поля).

Для увеличения силы тяги рассматриваемых локомотивов увеличивают их сцепную массу путем размещения балласта (на тепловозе ТГМ4 укладываются плиты по 0,4 и 1,2 т общей массой до 12 т).

Для механических передач тепловозов характерно падение силы тяги до нуля в момент переключения ступеней редуктора, что может вызвать опасные динамические нагрузки подвижного состава. Поэтому мощность таких локомотивов ограничена пределами 220 кВт, а не используются они в основном на маневровой работе.

### Контрольные вопросы

1. Как образуется сила тяги локомотива на колесе?
2. Что называется силой тяги локомотива?
3. Что называется силой сцепления локомотива?
4. Как формулируется основной закон локомотивной тяги?
5. Что называется тяговой характеристикой локомотива?
6. Как строится тяговая характеристика локомотива?
7. Что представляет собой полная тяговая характеристика тепловоза?
8. Что представляет собой тяговая характеристика тепловоза с электрической передачей?

## Глава 30. СОПРОТИВЛЕНИЕ ДВИЖЕНИЮ ПОЕЗДА

### § 106. Классификация сил сопротивления

Силы, действующие против движения поезда, на преодоление которых расходуется мощность локомотива, называются **силами сопротивления**.

Эти силы подразделяют на *основное* ( $W_0$ ) и *дополнительное* ( $W_d$ ) *сопротивления*. Первое из них действует постоянно на прямом горизонтальном пути при равномерной скорости и нормальных метеорологических условиях, а второе — на уклонах, кривых участках, стрелочных переводах, при трогании с места, а также при сильном ветре и низких температурах.

Почти все указанные силы пропорциональны весу подвижного состава. Поэтому различают полное и удельное сопротивление движению.

Полным называют сопротивление, которое испытывает локомотив или поезд. Оно измеряется в ньютонх (иногда килоньютонх) и обозначается через  $W$ .

Силы  $W$  равны сумме сопротивлений локомотива  $W'$  и сцепленного с ним подвижного состава  $W''$ :

$$W = W' + W'' \quad (50)$$

Сопротивление, приходящееся на единицу веса локомотива или поезда, называют удельным (Н/кН):

$$w = \frac{W}{Pg} \quad (51)$$

где  $P$  — масса локомотива или состава, т.

### § 107. Основное сопротивление движению

Основное сопротивление, определение которому дано выше (см. § 106), вызывается трением частей локомотива и вагонов (шеек осей и подшипников), взаимодействием подвижного состава и пути (качение и скольжение колес по рельсам, удары на их стыках), влиянием воздушной среды.

Чтобы уменьшить основное сопротивление, надо снизить силы трения, т. е. своевременно смазывать соприкасающиеся поверхности, оборудовать подвижной состав подшипниками качения вместо подшипников скольжения, в зависимости от температуры окружающей среды применять соответствующую смазку (вязкость ее возрастает при уменьшении температуры, что приводит к увеличению сил трения). Хорошие результаты получаются и при повышении твердости поверхностей контакта колес и рельсов, улучшении технического содержания пути.

Сопротивление воздушной среды, пропорциональное площади поперечного сечения подвижного состава и квадрату скорости движения, для  $v = 30$ — $40$  км/ч не имеет большого значения. Оно резко увеличивается при повышении скоростей до  $150$ — $200$  км/ч. Поэтому подвижному составу (особенно локомотиву) целесообразно придавать обтекаемые формы.

Из-за многообразия факторов, от которых зависит величина  $W_0$ , невозможно точно определить значения ее отдельных составляющих. Поэтому удельное сопротивление  $w_0$  устанавливают по формулам, которые выведены опытным путем для различных условий работы подвижного состава.

Локомотивы имеют неодинаковое сопротивление при режимах тяги и холостого хода. В последнем случае оно возрастает из-за трения в ходовых частях и зубчатых передачах.

Основное удельное сопротивление электровоза или тепловоза магистрального транспорта при поездной работе вычисляют следующим образом:

— в режиме тяги

$$w'_0 = 1,9 + 0,01v + 0,0003v^2, \quad (52)$$

— в режиме холостого хода

$$w_x = 2,4 + 0,11v + 0,00035v^2. \quad (53)$$

Таблица 20. Значения коэффициентов для определения основного удельного сопротивления локомотивов промтранспорта

Тип локомотива	Пути	Режим тяги		Режим холостого хода	
		$a_1$	$c_1$	$a_2$	$c_2$
Электропоз шести-осный	Постоянные	1,5	0,0014	4,18	0,0014
	Передвижные	3,5	0,0027	6,35	0,0027
Электропоз четырех-осный	Постоянные	1,6	0,0015	4,35	0,0015
	Передвижные	3,6	0,0040	6,35	0,0040
Тепловоз	Постоянные	3,9	0	6	0
Тепловоз узкоколей-ный	»	4,0	0	6	0

Соответственно для локомотивов промышленного транспорта

$$w_0' = a_1 + c_1 v^2, \quad (54)$$

$$w_x = a_2 + c_2 v^2, \quad (55)$$

где  $a_1, c_1$  — коэффициенты при работе в режиме тяги;  
 $a_2, c_2$  — то же при холостом ходе.

Значения этих коэффициентов для различных типов локомотивов промтранспорта и неодинакового состояния пути приведены в табл. 20. Для тепловозов  $c_1 = 0$  и  $c_2 = 0$ , т. е. не учитывается влияние скорости движения, так как в условиях промтранспорта тяговые расчеты производят для невысоких величин  $v$ .

**Пример.** Определить основное удельное сопротивление шестиосного электропоза 21Е при движении на постоянных путях со скоростью 25 км/ч в режиме тяги.

**Решение.** По формуле (54) и данным табл. 20 находим  $w_0' = 1,5 + 0,0014 \cdot 25^2 = 2,375$  Н/кН.

Такое же сопротивление универсальных или специальных вагонов устанавливают в зависимости от средней осевой нагрузки  $q_0$  (кН), скорости движения  $v$  и типа подшипников:

— для четырехосного груженого вагона на роликовых подшипниках

$$w_0'' = 0,7 + \frac{(3 + 0,1v + 0,0025v^2)g}{q_0}, \quad (56)$$

— для четырехосного груженого вагона на подшипниках скольжения или для шестиосного на роликовых

$$w_0'' = 0,7 + \frac{(8 + 0,1v + 0,0025v^2)g}{q_0}, \quad (57)$$

— для четырех- или шестиосного порожнего вагона на роликовых подшипниках

$$w_0'' = 1,0 + 0,044v + 0,024v^2, \quad (58)$$

Т а б л и ц а 21. Значения коэффициентов для определения основного удельного сопротивления вагонов промтранспорта

Тип вагона	Грузовой вагон		Порожний вагон	
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>b</i>
Думпкары:				
— четырехосный	2,9	0,026	3	0,035
— шестиосный	3,6	0,015	11,4	0,03
Ковши:				
— чугуновозный	4,13	0,141	4,61	0,091
— шлаковозный				
(11 м³)	3,43	0,242	4,74	0,0542
» (16,5 м³)	3,52	0,048	3,81	0,07
Тележка слитковозная	4,11	0,0047	5,07	0,0043

— для четырехосного порожнего вагона на подшипниках скольжения

$$w_0'' = 1,5 + 0,045v + 0,00027v^2. \quad (59)$$

Для думпкаров, эксплуатируемых в карьерах, и технологических вагонов промтранспорта

$$w_0'' = a + bv, \quad (60)$$

где *a* и *b* — коэффициенты, величины которых приведены в табл. 21.

Зная сопротивления локомотива и присоединенных к нему вагонов, нетрудно подсчитать величину  $w_0$  для всего поезда:

$$w_0 = \frac{Pw_0' + Qw_0''}{P + Q}, \quad (61)$$

где *P*, *Q* — масса локомотива и прицепной части поезда, т.

### § 108. Дополнительное сопротивление движению и причины, его вызывающие

При движении на подъеме или при спуске локомотив и вагоны испытывают дополнительное сопротивление от уклона, вызванное действием составляющей силы веса  $Q'$ .

Разложим величину  $Q'$  (рис. 143) на составляющие  $Q'\cos \alpha$  и  $Q'\sin \alpha$ . Первая из них, перпендикулярная направлению движения, уравновешивается реакцией рельсов *N*, а вторая, параллельная этому направлению, представляет собой дополнительное сопротивление от уклона.

Так как угол  $\alpha$  уклона железнодорожных путей промтранспорта не превышает  $5^\circ$ ,  $\sin \alpha \approx \operatorname{tg} \alpha$ . Тогда сила сопротивления

$$W_t = 1000Q'\operatorname{tg} \alpha = 1000Q\operatorname{tg} \alpha. \quad (62)$$

**Таблица 20. Значения коэффициентов для определения  
основного удельного сопротивления локомотивов промтранспорта**

Тип локомотива	Пути	Режим тяги		Режим холостого хода	
		$a_1$	$c_1$	$a_2$	$c_2$
Электропоз шести-осный	Постоянные	1,5	0,0014	4,18	0,0014
	Передвижные	3,5	0,0027	6,35	0,0027
Электропоз четырех-осный	Постоянные	1,6	0,0015	4,35	0,0015
	Передвижные	3,6	0,0040	6,35	0,0040
Тепловоз	Постоянные	3,0	0	4	0
Тепловоз узкоколей-ный	»	4,0	0	6	0

Соответственно для локомотивов промышленного транспорта

$$w_0' = a_1 + c_1 v^2, \quad (54)$$

$$w_x = a_2 + c_2 v^2, \quad (55)$$

где  $a_1, c_1$  — коэффициенты при работе в режиме тяги;

$a_2, c_2$  — то же при холостом ходе.

Значения этих коэффициентов для различных типов локомотивов промтранспорта и неодинакового состояния пути приведены в табл. 20. Для тепловозов  $c_1 = 0$  и  $c_2 = 0$ , т. е. не учитывается влияние скорости движения, так как в условиях промтранспорта тяговые расчеты производят для невысоких величин  $v$ .

**Пример.** Определить основное удельное сопротивление шестiosного электропоза 21Е при движении на постоянных путях со скоростью 25 км/ч в режиме тяги.

**Решение.** По формуле (54) и данным табл. 20 находим  $w_0' = 1,5 + 0,0014 \cdot 25^2 = 2,375$  Н/кН.

Такое же сопротивление универсальных или специальных вагонов устанавливают в зависимости от средней осевой нагрузки  $q_0$  (кН), скорости движения  $v$  и типа подшипников:

— для четырехосного груженого вагона на роликовых подшипниках

$$w_0'' = 0,7 + \frac{(3 + 0,1v + 0,0025v^2)g}{q_0}, \quad (56)$$

— для четырехосного груженого вагона на подшипниках скольжения или для шестiosного на роликовых

$$w_0'' = 0,7 + \frac{(8 + 0,1v + 0,0025v^2)g}{q_0}, \quad (57)$$

— для четырех- или шестiosного порожнего вагона на роликовых подшипниках

$$w_0'' = 1,0 + 0,044v + 0,024v^2, \quad (58)$$

**Т а б л и ц а 21. Значения коэффициентов для определения  
основного удельного сопротивления вагонов промтранспорта**

Тип вагона	Груженный вагон		Порожный вагон	
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>b</i>
Думпкары:				
— четырехосный	2,9	0,026	3	0,035
— шестиосный	3,6	0,015	11,4	0,03
Ковши:				
— чугуновозный	4,13	0,141	4,61	0,091
— шлаковозный				
(11 м³)	3,43	0,242	4,74	0,0542
» (16,5 м³)	3,52	0,048	3,84	0,07
Тележка слитковозная	4,11	0,0047	5,07	0,0043

— для четырехосного порожнего вагона на подшипниках скольжения

$$w_0'' = 1,5 + 0,045v + 0,00027v^2. \quad (59)$$

Для думпкаров, эксплуатируемых в карьерах, и технологических вагонов промтранспорта

$$w_0'' = a + bv, \quad (60)$$

где *a* и *b* — коэффициенты, величины которых приведены в табл. 21.

Зная сопротивления локомотива и присоединенных к нему вагонов, нетрудно подсчитать величину  $w_0$  для всего поезда:

$$w_0 = \frac{Pw_0' + Qw_0''}{P + Q}, \quad (61)$$

где *P*, *Q* — масса локомотива и прицепной части поезда, т.

### **§ 108. Дополнительное сопротивление движению и причины, его вызывающие**

При движении на подъеме или при спуске локомотив и вагоны испытывают дополнительное сопротивление от уклона, вызванное действием составляющей силы веса  $Q'$ .

Разложим величину  $Q'$  (рис. 143) на составляющие  $Q'\cos \alpha$  и  $Q'\sin \alpha$ . Первая из них, перпендикулярная направлению движения, уравновешивается реакцией рельсов *N*, а вторая, параллельная этому направлению, представляет собой дополнительное сопротивление от уклона.

Так как угол  $\alpha$  уклона железнодорожных путей промтранспорта не превышает 5°,  $\sin \alpha \approx \operatorname{tg} \alpha$ . Тогда сила сопротивления

$$W_i = 1000Q'\operatorname{tg} \alpha = 1000Q\operatorname{tg} \alpha. \quad (62)$$

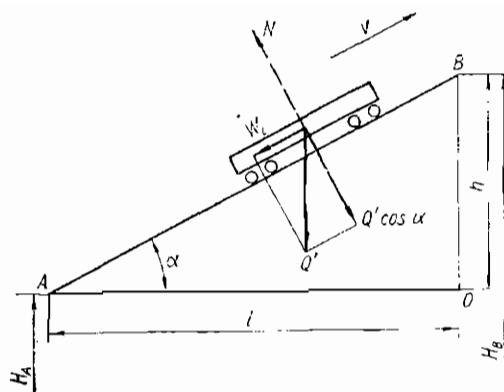


Рис. 143. Схема образования силы сопротивления от подъема.

Крутизна уклона определяется величиной подъема или спуска (в метрах) на протяжении 1000 м и измеряется в тысячных (‰):

$$i = \frac{h}{l} 1000 = 1000 \operatorname{tg} \alpha. \quad (63)$$

Следовательно,  $W_i = Qgi$ . Удельное сопротивление от уклона

$$w_i = \frac{W_i}{Qg} = i, \quad (64)$$

т. е. оно численно равно величине уклона в тысячных или же каждая из этих тысячных создает сопротивление 1 Н/кН.

Рассматриваемое сопротивление положительно при подъемах (от А к В) и отрицательно при спусках (от В к А), так как составляющая  $Q' \sin \alpha$  в последнем случае способствует движению, уменьшая общее сопротивление.

Значение  $w_i$  при подъеме одинаково для любого вида транспортного экипажа — вагона или локомотива:  $w_i = w'_i = w''_i = i$ . Величина подъема может быть определена отношением разности абсолютных (или относительных) отметок конечной и начальной его точек к расстоянию между ними.

**Пример.** Установить удельное сопротивление движению, если  $H_A = 300$  м (абсолютная отметка точки А),  $H_B = 320$  м (то же для точки В),  $l = 4000$  м, т. е. расстояние между точками А и В на горизонтальной плоскости (можно принять  $AO \approx AB$ , так как угол  $\alpha$  имеет малую величину).

**Решение.** При движении поезда:

а) на подъем

$$w_i = i = \frac{H_B - H_A}{l} 1000 = \frac{320 - 300}{4000} 1000 = +5 \text{ Н/кН},$$

б) под уклон

$$\omega_i = i = \frac{H_A - H_B}{l} 1000 = \frac{300 - 320}{4000} 1000 = -5 \text{ Н/кН.}$$

Дополнительное *сопротивление от кривой*, возникающее при движении поезда по непрямым участкам пути вследствие трения реборд колесных пар вагонов и локомотивов о головки наружных рельсов, повышения продольного и поперечного скольжения колес, а также поворачивания тележек, с уменьшением радиуса этой кривой увеличивается.

Удельное *такос* сопротивление определяют экспериментальным путем. В расчетные формулы входит радиус кривой, от которого в основном зависит величина дополнительного сопротивления и который заранее известен. Влияние остальных факторов учитывается соответствующими числовыми коэффициентами.

Удельное сопротивление от кривой для поездной работы при длине кривой  $S_{кр}$ , большей или равной длине поезда  $l_n$ ,

$$\omega_r = 700/R, \quad (65)$$

где  $R$  — радиус кривой, м (при  $R > 300$  м).

Если  $S_{кр} < l_n$ , то

$$\omega_r = \frac{700}{R} \cdot \frac{S_{кр}}{l_n}. \quad (66)$$

На промышленном транспорте, где часто встречаются кривые радиусом 60—100 м,

$$\omega_r = 450/R, \quad (67)$$

ибо формула (65) даст сильно завышенные результаты.

Для передвижных путей промтранспорта:

а) при  $l_n \leq S_{кр}$

$$\omega_r = 1300/R, \quad (68)$$

б) при  $l_n > S_{кр}$

$$\omega_r = \frac{1300}{R} \cdot \frac{S_{кр}}{l_n}. \quad (69)$$

При совпадении кривой с уклоном на участке пути их выражают суммарным сопротивлением, заменяя сопротивление от кривой фиктивным подъемом. Тогда так называемый приведенный уклон

$$i_k = \pm i + \omega_r, \quad (70)$$

при этом  $i$  берут со знаком «плюс» или «минус», если поезд движется соответственно на подъем или под уклон.

На промышленном транспорте при тяговых расчетах необходимо учитывать также дополнительное *сопротивление движению от стрелочных переводов*, среднее количество которых на 1 км рель-

совой колес доходит до 5 шт., а на путях перемещения чугуновозных ковшей и слитковозных тележек — до 9 шт.

Средняя величина дополнительного удельного сопротивления ( $\omega_{стр}$ ) при проходе стрелочных переводов типа 1/6 и 1/9 соответственно составляет 2,93 и 2,45 Н/кН. Значение  $\omega_{стр}$  для вагонов на подшипниках скольжения возрастает на 15%.

*Сопротивление при трогании с места* обусловлено тем, что в буксах между трущимися поверхностями смазка выжимается, а колеса как бы вдавливаются в головки рельсов. При прохождении около 1 м пути появляется масляная пленка между указанными поверхностями, и это сопротивление, начав снижаться, исчезает полностью, когда поезд пройдет примерно 10—13 км.

Сопротивление при трогании с места подвижного состава на роликовых подшипниках по сравнению с подшипниками скольжения значительно меньше. Дополнительное удельное такое сопротивление для грузовых вагонов равно:

а) при подшипниках скольжения

$$\omega_{тр} = \frac{1393}{q_0 + 68,7}, \quad (71)$$

б) при подшипниках качения

$$\omega_{тр} = \frac{275}{q_0 + 68,7}, \quad (72)$$

где  $q_0$  — средняя для состава нагрузка от оси на рельсы, кН.

Чтобы уменьшить рассматриваемое сопротивление, поезд осаживают, т. е. сжимают автосцепные приборы. После трогания вагоны начинают перемещаться одновременно, используя потенциальную энергию сжатых поглощающих аппаратов автосцепки и кинетическую энергию вагонов, пришедших в движение.

*Сопротивление от низких температур* ( $-30^\circ\text{C}$  и ниже) вызвано увеличением вязкости смазки и плотности наружного воздуха.

Опытным путем были установлены средние значения удельного сопротивления ( $\omega_o'$ ) вагонов-самосвалов в летних и зимних условиях в зависимости от скорости  $v$  и температуры  $t$ . Оказалось, что при  $v=10$  км/ч и  $t=-25 \dots 40^\circ\text{C}$  величина  $\omega_o'$  для думпкара равнялась 3,41 Н/кН против 2,82 Н/кН при  $t=+20^\circ\text{C}$ . Для скорости 25 км/ч соответственно  $\omega_o'=4,48$  Н/кН ( $t=-30^\circ\text{C}$ ),  $\omega_o'=3,74$  Н/кН ( $t=+20^\circ\text{C}$ ).

Отсюда следует, что при низких температурах сопротивление движению думпкаров возрастает примерно на 20%. Для магистрального транспорта правилами тяговых расчетов рекомендуется при скорости до 40 км/ч и температурах до  $-50^\circ\text{C}$  увеличивать основное сопротивление на 3—5%.

*Общее сопротивление движению поезда* ( $W_k$ ) вычисляется исходя из удельного основного  $\omega_o$  и суммарного дополнительного  $\omega_d$  с учетом веса локомотива  $P$  и прицепной части  $Q$ :

— в режиме тяги

$$W_k = (\omega_o' + \omega_d)Pg + (\omega_o'' + \omega_d)Qg; \quad (73)$$

— в режиме холостого хода

$$W_{\kappa} = (w_x + w_d) P g + (w_o'' + w_d) Q g. \quad (74)$$

**Пример.** Определить сопротивление грузового поезда длиной 400 м с тепловозом ТЭЗ (одна секция) при  $Q=2040$  т, составленного из 70,6% четырехосных и 29,4% шестиосных вагонов по весу, на подъеме 7‰, имеющем кривую радиусом 600 и длиной 200 м. При этом  $v=30$  км/ч, температура наружного воздуха  $t=+10^{\circ}\text{C}$  и боковой ветер со скоростью 8 м/с. Средняя нагрузка от оси на рельсы  $q_o$  для четырех- и шестиосных вагонов, оборудованных роликовыми подшипниками, соответственно равна 177 и 196 кН.

**Решение.** Определяем основное удельное сопротивление тепловоза и вагонов по формулам (52), (56) и (57):

$$w' = 1,9 + 0,01 \cdot 30 + 0,0003 \cdot 30^2 = 2,47 \text{ Н/кН};$$

$$w_{o4}'' = 0,7 + \frac{(3 + 0,1 \cdot 30 + 0,0025 \cdot 30^2) 9,81}{177} = 1,16 \text{ Н/кН};$$

$$w_{o6}'' = 0,7 + \frac{(8 + 0,1 \cdot 30 + 0,0025 \cdot 30^2) 9,81}{196} = 1,36 \text{ Н/кН}.$$

Дополнительное сопротивление от кривой [см. формулу (66)]

$$w_r = \frac{700}{600} \cdot \frac{200}{400} = 0,58 \text{ Н/кН},$$

от подъема  $w_i = 7$  Н/кН, а от ветра возьмем приближенно: 20% основного.

Тогда суммарные дополнительные сопротивления:

— локомотива

$$w_{д.л} = 7 + 0,58 + 0,2 \cdot 2,47 = 8,07 \text{ Н/кН};$$

— четырехосных вагонов

$$w_{д4} = 7 + 0,58 + 0,2 \cdot 1,16 = 7,81 \text{ Н/кН};$$

— шестиосных вагонов

$$w_{д6} = 7 + 0,58 + 0,2 \cdot 1,36 = 7,85 \text{ Н/кН}.$$

Масса частей состава:  $P=126$  т;  $Q_4=0,706 \cdot 2040=1440$  т;  $Q_6=0,294 \cdot 2040=600$  т.

Полное сопротивление [см. формулу (73)]:  $W_{\kappa} = (2,47 + 8,07) 126 \cdot 9,81 + (1,16 + 7,81) 1440 \cdot 9,81 + (1,36 + 7,85) 600 \cdot 9,81 = 194200$  Н.

Решение несколько упростится, если сначала вычислим основное удельное сопротивление поезда по формуле (61):

$$w_o = \frac{2,47 \cdot 126 + 1,16 \cdot 1440 + 1,36 \cdot 600}{126 + 2040} = 1,29 \text{ Н/кН}.$$

Тогда  $w_{д.п} = 7 + 0,58 + 0,2 \cdot 1,29 = 7,84$  Н/кН;  $W_{\kappa} = (1,29 + 7,84) \times (126 + 2040) 9,81 = 194200$  Н.

## Контрольные вопросы

1. Назовите причины, которые вызывают силы сопротивления.
2. Какое сопротивление называется основным и какое дополнительным?
3. В каких единицах измеряется удельное сопротивление движению и как оно обозначается?
4. Чему равно дополнительное удельное сопротивление движению на подъем?
5. Какие факторы определяют дополнительное сопротивление от кривых?
6. Назовите мероприятия, которые необходимо проводить для уменьшения величины сопротивления.

## Глава 31. ТОРМОЗНАЯ СИЛА ПОЕЗДА

### § 109. Коэффициент трения тормозной колодки о колесо

При давлении тормозной колодки на катящееся колесо (по кругу катания) с нажатием  $K$  (рис. 144) возникает сила трения

$$B_1 = K\varphi_k, \quad (75)$$

где  $\varphi_k$  — коэффициент трения между колодкой и колесом.

Сила  $B_1$  вызывает реакцию буксы  $B_2$ , равную по величине, но противоположно направленную; образуется пара сил —  $B_1$  и  $B_2$ , создающих в свою очередь вращающий момент  $M_t$ , действующий против вращения колеса. Заменяем эту пару эквивалентными силами  $B_3$  и  $B_4$ . Последняя из них ( $B_4$ ) при сцеплении колеса с рельсом порождает горизонтальную реакцию рельса  $B'_t$ , которая является внешней силой, способствующей замедлению движения. Происходит процесс, подобный созданию силы тяги. Сила  $B_4$  уравновешивается реакцией  $B'_t$ , а оставшаяся сила  $B_3$  вызывает торможение поезда.

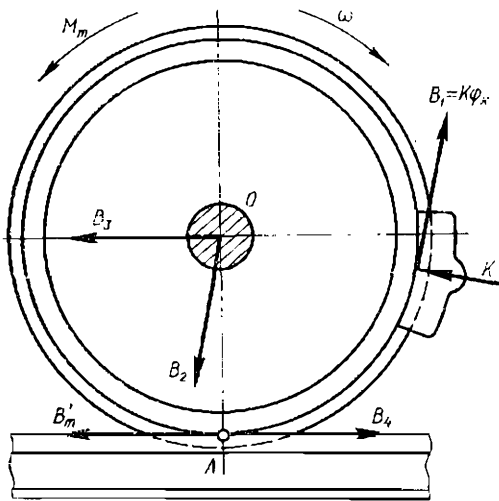


Рис. 144. Схема действия тормозной силы при механическом торможении.

Условно тормозной силой считают силу  $B'_t$ , приложенную к ободу колеса:  $B'_t = K\varphi_k$ , т. е. чем выше значения нажатия  $K$  и коэффициента трения  $\varphi_k$ , тем больше тормозная сила.

Величина  $K$  определяется параметрами тормозной системы и обуславливается интенсивностью торможения. Коэффициент  $\varphi_k$  зависит от удельного нажатия колодки на колесо, от материала и состояния трущихся поверхностей того и другого, скорости движения, формы и способа изготовления колодок и пр.

Экспериментальным путем установлено, что величина  $\varphi_k$  уменьшается с повышением скорости и возрастанием давления колодки на колесо.

Для большей тормозной силы целесообразно применять колодки с увеличенной площадью соприкосновения с колесами, что реализовано в локомотивах и вагонах с двусторонним торможением (к каждому колесу прижимается две колодки). При этом удельное нажатие колодок значительно меньше, чем при одностороннем торможении, а коэффициент  $\varphi_k$  заметно выше. Он также возрастает при увеличении твердости колодок и колес.

Коэффициент  $\varphi_k$  резко снижается у чугунных стандартных колодок при увеличении скорости поезда. Сейчас применяются улучшенные такие колодки (с содержанием фосфора 1—1,4%) и композиционные (пластмассовые), которые меньше изнашиваются.

Величина  $\varphi_k$  определяется по следующим формулам для колодок:

— чугунных стандартных

$$\varphi_k = 0,6 \frac{1,63K + 100}{8,2K + 100} \frac{v + 100}{5v + 100}, \quad (76)$$

— чугунных с повышенным содержанием фосфора

$$\varphi_k = 0,5 \frac{1,63K + 100}{5,3K + 100} \frac{v + 100}{5v + 100}, \quad (77)$$

— композиционных (из материала ГKB-10)

$$\varphi_k = 0,44 \frac{0,1K + 20}{0,4K + 20} \frac{v + 100}{2v + 150}, \quad (78)$$

где  $K$  — действительное нажатие одной тормозной колодки, кН.

На рис. 145 показаны зависимости величины  $\varphi_k$  в различных случаях от скорости движения при нажатии  $K=20$  кН. По этим кривым видно, что коэффициент трения композиционных колодок при повышении или уменьшении значения  $v$  изменяется в малой степени.

## § 110. Сила нажатия тормозных колодок и ее ограничения

Величина тормозной силы  $B'_T$  (как и силы тяги) ограничивается сцеплением колеса  $F'_K$ , обусловленным нагрузкой  $P_0$  от него на рельс и соответствующим коэффициентом  $\Psi$ . Если  $B'_T > F'_K$ , что равнозначно  $K\varphi_k > P_0\Psi$ , колесо начнет проскальзывать и может прекратить

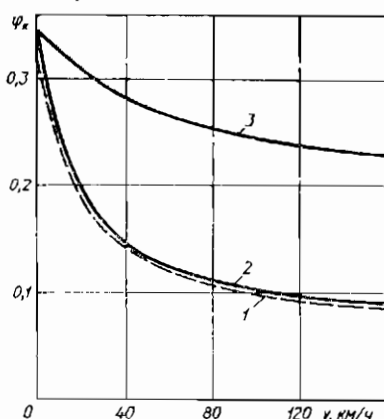


Рис. 145. Изменение коэффициента трения различных колодок в зависимости от скорости:

1 — чугунных стандартных; 2 — чугунных с повышенным содержанием фосфора; 3 — композиционных.

вращение, т. е. произойдет так называемый юз, приводящий к образованию ползунов и выбоин на поверхности колеса, которые «способны» повредить рельсы (особенно при низких температурах окружающей среды), что угрожает безопасности движения.

Для обеспечения нормального торможения необходимо, чтобы

$$K\varphi_k \leq P_0\Psi, \quad (79)$$

откуда

$$K \leq \frac{\Psi}{\varphi_k} P_0, \quad (80)$$

т. е. нажатие колодки  $K$  не должно превышать определенной величины, при которой наступает заклинивание колес.

Из формулы (79) следует, что

$$\frac{K}{P_0} = \frac{\Psi}{\varphi_k} = \delta, \quad (81)$$

или же

$$K = \frac{\Psi}{\varphi_k} P_0 = \delta P_0, \quad (82)$$

где  $\delta$  — коэффициент нажатия колодки на колесо, определяемый отношением силы  $K$  к нагрузке на рельс от этого колеса.

Величины  $\varphi_k$  и  $\Psi$  в зависимости от погоды изменяются примерно одинаково, но от скорости первая из них повышается (снижается) интенсивней, чем вторая. Поэтому необходимо правильно выбирать значение  $\sigma$ , которое будет наибольшим в случае реализации максимального коэффициента сцепления  $\Psi$  (сухая погода, чистые рельсы и колеса), а также при минимальном показателе  $\varphi_k$  (влажные, загрязненные рельсы и колодки), а наименьшим — при совпадении минимального коэффициента  $\varphi$  и максимального  $\varphi_k$ . Тогда

$$\delta_{\max} = \frac{\max \Psi}{\min \varphi_k} = \frac{0,35}{0,20} = 1,75, \quad (83)$$

$$\delta_{\min} = \frac{\min \Psi}{\max \varphi_k} = \frac{0,10}{0,40} = 0,25. \quad (84)$$

Реальный коэффициент  $\sigma$  должен находиться где-то посредине полученного интервала.

В расчетах тормозной силы значение  $\sigma$  при чугунных колодках принимают: для грузовых вагонов  $\sigma = 0,6-0,7$ , а для пассажирских  $\sigma = 0,7-0,9$ . При композиционных колодках  $\sigma = 0,3$ .

Нагрузка на рельсы от колес берется для порожнего вагона, ибо заклинивание их в данном случае наиболее возможно. Поэтому в автотормозах предусматриваются порожний и груженный (а в ряде приборов также средний) режимы.

При порожнем режиме нажатие колодок на ось равно 35 кН, что соответствует  $\sigma = 0,7$ , а при груженом — 70 кН, когда  $\sigma = 1,3$  от веса тары или 0,7 от брутто.

Для ручных (стояночных) тормозов нажатие колодок на вагонную ось принимают 20 кН, а для электровозов и тепловозов — 50 кН.

### § 111. Полная и удельная тормозные силы

Тормозная сила поезда определяется количеством колодок в нем. Одна такая колодка создает силу  $\varphi_k K$  (кН) или  $1000 \varphi_k K$  (Н).

Полная тормозная сила (Н)

$$B_T = 1000 \sum \varphi_k K, \quad (85)$$

где  $\varphi_k$  — действительный коэффициент трения каждой из колодок (или группы их с одинаковым значением  $K$ );

$K$  — действительное нажатие колодки, кН.

Приняв коэффициент трения средним для всех колодок поезда, имеем

$$B_T = 1000 \varphi_k \sum K = 1000 \varphi_k (\sum K_L + \sum K_B), \quad (86)$$

где  $\sum K_L$ ,  $\sum K_B$  — суммарное нажатие колодок локомотива и вагонов, кН.

Удельная тормозная сила (Н/кН), т. е. приходящаяся на 1 кН веса поезда,

$$b_T = \frac{B_T}{(P + Q)g} = 1000 \frac{\varphi_k}{g} \left( \frac{\sum K}{P + Q} \right) = 1000 \frac{\varphi_k}{g} \left( \frac{\sum K_L}{P + Q} + \frac{\sum K_B}{P + Q} \right). \quad (87)$$

Отношение суммы сил нажатия всех тормозных колодок в составе к его весу называется *действительным тормозным коэффициентом*

$$\nu = \frac{\sum K}{(P + Q)g}. \quad (88)$$

Тогда по формуле (87)

$$B_T = 1000 \varphi_k \nu = 1000 \varphi_k (\nu_L + \nu_B). \quad (89)$$

Коэффициент  $\nu$  показывает, какая величина  $K$  приходится на единицу веса поезда. При повышении значения  $\nu$  в 1000 раз получают округленное нажатие колодок  $\nu_n$  в килоньютонах на 100 т массы состава, что является характеристикой обеспеченности его тормозами. Эта характеристика приводится в справке о тормозах, которую вручает машинисту локомотива осматрщик вагонов.

Обычно принимают расчетное значение  $\nu_p = 0,33$ , т. е. на 100 т массы поезда приходится 330 кН нажатия колодок.

### § 112. Торможение поезда локомотивом

Этот вид торможения на промышленном транспорте широко применяется при технологических и других перевозках. В данном случае пользуются вспомогательным краном усл. № 254, работа

которого описана выше. Тормозная волна распространяется быстро, так как тормозные линии локомотива коротки по сравнению с магистралью всего поезда.

Время от начала торможения до условного момента прижатия колодок к колесам локомотива

$$t_n = 4 - \frac{5i_c}{100\varphi_k v'}, \quad (90)$$

где  $i_c$  — спрямленный уклон на тормозном пути, ‰ (берется со знаком «минус»);

$v'$  — тормозной коэффициент, определяемый отношением величины силы нажатия всех колодок локомотива к весу поезда:

$$v' = \frac{\sum K_n}{(P + Q)g}. \quad (91)$$

Максимальный тормозной коэффициент трения реализуется на нестой позиции крана усл. № 254, а в остальных его положениях он равен 20—70% своей наибольшей величины.

При торможении специальных вагонов одним локомотивом реализуются очень низкие такие коэффициенты, ибо суммарная сила нажатия его колодок намного меньше, чем при использовании тормозных средств локомотива и состава.

Расчетная величина силы нажатия всех колодок составляет для тепловозов ТЭМ1, ТЭМ2 и ТЭ3 — 706 кН, ТГМ6А — 475 кН, ТГМЗЛ — 320 кН.

При нажатии колодок от 20 до 60 кН и скоростях до 25 км/ч коэффициент  $\varphi_k$  (по результатам испытаний) можно вычислить также с помощью следующей формулы:

$$\varphi_k = (1,306 - 0,007K) \frac{v + 58}{24v + 182}. \quad (92)$$

Зная суммарное нажатие колодок и коэффициент трения, легко подсчитать тормозную силу локомотива:

$$B_r = 1000\varphi_k \sum K_n. \quad (93)$$

При этом скорость движения должна выбираться такой, чтобы обеспечить остановку поезда на установленной длине тормозного пути.

### § 113. Расчет тормозной силы и тормозных путей

Расчет тормозной силы поезда удобно выполнять при условии, если для всех его вагонов величина  $K$  одна и та же. При значительном отличии нажатия колодок на колеса подвижного состава указанную силу вычисляют методом приведения, при котором действительный коэффициент  $\varphi_k$  заменяется расчетным  $\varphi_{kr}$ , одинаковым для всех вагонов.

Чтобы тормозная сила  $B_T$  была постоянной, действительное нажатие колодок на колеса также заменяется расчетной его величиной  $K_p$  (кН). При этом должно соблюдаться условие

$$B_T = 1000 \sum \varphi_k K = 1000 \sum \varphi_{k,p} K_p. \quad (94)$$

Удельную тормозную силу можно определить из соотношения

$$b_T = 1000 \varphi_{k,p} \frac{\sum K_p}{(P + Q)g} = 1000 \varphi_{k,p} \gamma_p. \quad (95)$$

Здесь и вводится расчетный тормозной коэффициент:

$$\gamma_p = \frac{\sum K_p}{(P + Q)g}. \quad (96)$$

Но для каждой тормозной колодки необходимо, чтобы

$$\varphi_k K = \varphi_{k,p} K_p. \quad (97)$$

Отсюда

$$K_p = K \frac{\varphi_k}{\varphi_{k,p}}. \quad (98)$$

Величину  $\varphi_k$  устанавливают по формулам (76) — (78). По ним же находят и коэффициент  $\varphi_{k,p}$  при  $K=27$  кН для чугунных колодок и  $K=16$  кН — для композиционных (соответствующих среднему нажатию на колодку четырехосного вагона при груженом и порожнем режимах торможения).

Тогда для обычных чугунных колодок

$$\varphi_{k,p} = 0,6 \frac{1,63 \cdot 27 + 100}{8,2 \cdot 27 + 100} \cdot \frac{v + 100}{5v + 100} = 0,27 \frac{v + 100}{5v + 100}. \quad (99)$$

Эта формула неприменима при технологических перевозках из-за слишком низких скоростей движения, но может использоваться при тормозных расчетах для поездов в карьерах, на вывозных и межцеховых путях.

Для чугунных колодок с повышенным содержанием фосфора по аналогии получим

$$\varphi_{k,p} = 0,30 \frac{v + 100}{5v + 100}, \quad (100)$$

а для композиционных

$$\varphi_{k,p} = 0,36 \frac{v + 150}{5v + 150}. \quad (101)$$

Зная величины  $\varphi_k$  и  $\varphi_{k,p}$ , по формуле (98) определим расчетное нажатие на колесо для колодок:

— чугунных

$$K_p = K \frac{\varphi_k}{\varphi_{k,p}} = 2,22K \frac{1,63K + 100}{8,2K + 100}; \quad (102)$$

— чугуновых с повышенным содержанием фосфора

$$K_p = 1,67K \frac{1,63K + 100}{5,3K + 100}; \quad (103)$$

— композиционных

$$K_p = 1,22K \frac{0,1K + 20}{0,4K + 20}. \quad (104)$$

Для экстренного торможения коэффициент  $v_p$  принимается полностью, служебного —  $0,8 v_p$ , а для снижения скорости на перестое —  $0,5 v_p$ .

При расчете нажатия колодок грузовых поездов учитывают вес и тормоза только состава.

Усиление тормозных средств карьерных локомотивов и вагонов, которые работают в условиях крутых затяжных спусков, надо осуществлять за счет увеличения суммарного нажатия на колеса и применения композиционных колодок.

Тормозной путь, установленный ПТЭ железных дорог промышленного транспорта, является важным параметром и определяется как *расчетный тормозной путь*.

Полный тормозной путь  $S_T$  (м), т. е. расстояние, проходимое поездом от начала торможения до остановки, разделяют на два участка:

$$S_T = S_n + S_d, \quad (105)$$

где  $S_n$  — путь подготовки к торможению;

$S_d$  — путь действительного торможения.

Путь  $S_n$ , преодолеваемый составом за время подготовки тормозов к срабатыванию  $t_n$  (с), называется *предтормозным* (или подготовительным), а путь  $S_d$ , пройденный с нажатыми колодками от момента начала снижения скорости до полной остановки, — *действительным тормозным путем*.

При движении поездов на уклоне до  $20\text{‰}$  с равномерной скоростью

$$S_n = \frac{v_n t_n}{3,6} = 0,278 v_n t_n, \quad (106)$$

где  $v_n$  — скорость в начале торможения, км/ч.

Величина  $t_n$  принимается: при экстренном торможении — 7 с, а при служебном — 13 с. При автоматических тормозах до 200 осей в составе

$$t_n = 7 - \frac{10i_c}{1000\varphi_{к.р}v_p} = 7 - \frac{10i_c}{b_r}, \quad (107)$$

а при более 200 осей

$$t_n = 10 - \frac{15i_c}{1000\varphi_{к.р}v_p} = 10 - \frac{15i_c}{b_r}, \quad (108)$$

где  $i_c$  — спрямленный уклон на тормозном пути,  $\text{‰}$  (на спуске знак «+», на подъеме «—»);

$\varphi_{к.р}$  — расчетный коэффициент трения колодок о колеса при наибольшей скорости;

$v_n$  — расчетный коэффициент для экстренного торможения;

$b_T$  — удельная тормозная сила при скорости  $v_n$ .

Для приближенного расчета величина  $b_T$  принимается постоянной и равной среднему значению в интервале от начальной скорости  $v_n$  до конечной  $v_k$ .

На крутых уклонах (карьеры и т. д.) за время подготовки тормозов к действию скорость движения возрастает, что приводит к увеличению пути  $S_n$ :

$$S_n = -\frac{v_n^2 t_n}{3,6} + 4,62 \cdot 10^{-3} (\pm i_c - w_0) t_n^2. \quad (109)$$

При торможении поезда до полной остановки ( $v_k = 0$ )

$$S_d = 4,17 \frac{v_n^2 - v_k^2}{1000 v_p \varphi_{к.р} + w_0 - i_c} = \frac{4,17(v_n^2 - v_k^2)}{b_T + w_0 - i_c}, \quad (110)$$

где  $b_T$ ,  $w_0$  — удельные силы (тормозная и сопротивления) для средней скорости в расчетном интервале, Н/кН.

Установление требуемых тормозных средств при определенных скоростях и весе поезда может быть выполнено по графику (рис. 146), построенному на основе формулы (110) при длине расчетного тормозного пути 300 м (для карьерных условий). Наклонные линии графика представляют собой изменения скорости в зависимости от величины уклона  $i$  (‰) и необходимого нажатия колодок  $v_n$  (кН) на каждые 100 т массы состава.

**Пример.** Какая величина  $v_n$  требуется для остановки поезда массой 300 т, движущегося по уклону  $i = 25\text{‰}$  при  $v = 20$  км/ч.

**Решение.** Из точки  $i = 25\text{‰}$  восстанавливаем перпендикуляр до пересечения с линией скорости  $v = 20$  км/ч. Через точку этого пересечения проводим еще один перпендикуляр к оси ординат и, интерполируя, получим  $v_n = 150$  кН на каждые 100 т массы состава.

Для остановки поезда массой 300 т понадобится общее тормозное нажатие

$$\Sigma K = \frac{P v_n}{100} = \frac{300 \cdot 150}{100} = 450 \text{ кН}.$$

При электрической тяге на затяжных спусках успешно применяется также служебное электрическое реостатное торможение.

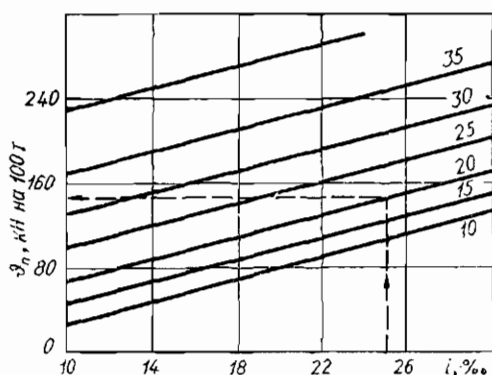


Рис. 146. Тормозное нажатие на 100 т массы поезда, требуемое для обеспечения его остановки при заданных уклоне и скорости движения.

## Контрольные вопросы

1. Как возникает тормозная сила при механическом торможении?
2. От каких факторов зависит величина коэффициента трения тормозных колодок о колесо?
3. При каких условиях появляется «юз» и к чему он приводит?
4. Что такое полная и удельная тормозные силы?
5. Как определяется расчетное пажаение колодки на колесо?
6. Что называется тормозным путем?
7. Что такое предтормозной путь и как он определяется?
8. Что такое путь действительного торможения и как он определяется?

## Глава 32. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ И ВРЕМЕНИ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДА

### § 114. Спрямление профиля пути

Профиль пути имеет много элементов разной длины и крутизны, которые включают в себя как прямые, так и кривые участки. При движении поезда определенного веса и постоянном режиме работы тяговых двигателей скорость  $v$  меняется: на более тяжелых участках она уменьшается, а на более легких — увеличивается. Чтобы упростить тяговые расчеты и повысить их точность, профиль рельсовой колес спрямляют.

Операция по объединению отдельных элементов и есть *спрямление профиля пути*, а полученные при этом «новые» участки называют спрямленными. Данная операция выполняется так, чтобы механическая работа сил сопротивления при движении поезда на действительном и фиктивном профилях была одинакова.

Для поездной работы разрешается спрямлять только рядом лежащие и близкие по крутизне элементы профиля одного знака. Необходимо, чтобы длина спрямленного участка равнялась сумме длин спрямляемых элементов, а сопротивление движению должно быть равным средней величине, которое испытывает поезд при движении по отдельным указанным элементам.

Если известны отметки конечных точек спрямленного участка профиля (рис. 147), то его уклон ( $‰$ )

$$i'_c = \frac{1000(H_k - H_n)}{S_c}, \quad (111)$$

где  $H_k$ ,  $H_n$  — отметки крайних точек головок рельсов над поверхностью нулевого уровня, м;

$S_c$  — длина спрямляемого участка, м.

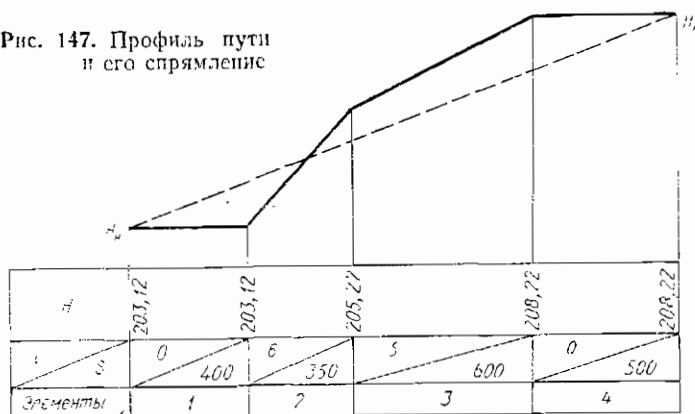
Эта длина

$$S_c = \sum S_i = S_1 + S_2 + \dots + S_n, \quad (112)$$

где  $S_1$ ,  $S_2$ , ...,  $S_n$  — длины действительных участков, входящих в спрямляемый элемент.

При отсутствии высотных отметок головок рельсов величина  $i'_c$

Рис. 147. Профиль пути и его спрямление



определяется по известным уклонам и длинам действительных элементов профиля:

$$i_c' = \frac{\sum i_i S_i}{\sum S_i} = \frac{i_1 S_1 + i_2 S_2 + \dots + i_n S_n}{S_1 + S_2 + \dots + S_n}, \quad (113)$$

где  $i_i$ ,  $S_i$  — уклон и длина спрямляемого участка, м.

Для проверки возможности спрямления намеченной группы элементов продольного профиля пользуются следующими формулами:

$$|i_c' - i_n| S_i \leq 2000, \quad (114)$$

$$S_i \leq \frac{2000}{\Delta i}, \quad (115)$$

где  $\Delta i = |i_c' - i_n|$  — абсолютная разность между фиктивным уклоном  $i_c'$  всего спрямляемого участка и действительным уклоном отдельного проверяемого элемента  $i_n$ , входящего в названный участок.

**Пример.** Определить фиктивный уклон для профиля пути, изображенного на рис. 147.

Решение. Все четыре элемента можно объединить в один участок, так как два из них имеют подъем того же направления: их можно спрямить с остальными (горизонтальными) элементами.

Фиктивный уклон [см. формулы (111) и (113)]

$$i_c' = \frac{1000(208,22 - 203,12)}{400 + 350 + 600 + 500} = 2,76\text{‰},$$

или

$$i_c' = \frac{0 \cdot 400 + 6 \cdot 350 + 5 \cdot 600 + 0 \cdot 500}{400 + 350 + 600 + 500} = 2,76\text{‰}.$$

Проверка возможности спрямления производится по формуле (115):

— для элемента 1

$$400 < \frac{2000}{2,76 - 0} = 725;$$

— для элемента 2

$$350 < \frac{2000}{2,76 - 0} = 617;$$

— для элемента 3

$$600 < \frac{2000}{2,76 - 0} = 893;$$

— для элемента 4

$$500 < \frac{2000}{2,76 - 0} = 725.$$

Все четыре элемента удовлетворяют требованию неравенства (115), поэтому спрямление их допустимо.

Имющиеся кривые на спрямляемых элементах заменяются дополнительным (фиктивным) подъемом — исходя из равенства механической работы на них:

а) при радиусе кривой 200 м и более


$$i_c'' = \frac{700}{S_c} \sum \frac{S_{кр}}{R_i} = \frac{700}{S_c} \left( \frac{S_1}{R_1} + \frac{S_2}{R_2} + \dots + \frac{S_n}{R_n} \right), \quad (116)$$

б) при радиусе кривой меньше 200 м

$$i_c'' = \frac{450}{S_c} \sum \frac{S_{кр}}{R_i} \%, \quad (117)$$

где  $S_{кр}$  — длина кривой в пределах спрямляемого элемента, м;  
 $R_i$  — ее радиус, м.

Рис. 148. Пример  
таблицы для спрямления  
профиля  
пути.



Элементы	1	2	3	$S, км$
Высотные отметки, м	173,08	166,85	156,77	154,42
Уклон, %		7,0	8,4	4,2
Длина, м	89	120	56	
Радиус кривой, м				
Длина кривой, м				
Номер спрямленного участка		1		
Приведенный уклон, %			7,04	
Длина спрямленного участка, м	265			

Приведенный уклон, т. е. крутизна спрямленного участка с учетом кривых,

$$i_c = i_c' + i_c''. \quad (118)$$

Величина  $i_c'$  берется со знаком «+» при движении поезда на подъем и со знаком «-» на спуске. Значение  $i_c''$  всегда принимается со знаком «+».

Спрявление профиля пути выполняют в оба направления (туда и обратно).

При вычерчивании продольного профиля спрямляемого участка рекомендуется использовать таблицу, которая строится согласно рис. 148.

Т а б л и ц а 22. Форма таблицы спрямления профиля

Номер элемента профиля	Длина элемента ( $S_d$ )	Кривизна элемен- та ( $i'_d$ )	Кривые*		Длина участка ( $S_c$ )	Кривизна участ- ка** ( $i'_c$ )	Фиктивный по- том от кривых*** ( $i''_c$ )	Суммарная кривизна участка ( $i_c = i'_c + i''_c$ )		Номер участка	Примечания и расчеты
			R	$S_{кр}$				туда	обрат- но		

\* Графы 1-5 заполняются по данным продольного профиля.

\*\* Определяется по формулам (111) и (113).

\*\*\* Устанавливаются по формулам (116) и (117).

Величина  $i_c$  численно равна дополнительному удельному сопротивлению движению от уклона и кривой. Если не принимать во внимание воздействие ветра и температуры, значение  $i_k$  (приведенный уклон) также можно брать равным  $i_c$ .

Полное удельное сопротивление

$$\omega_k = \omega_0 \pm i_k = \omega_0 \pm i_c. \quad (119)$$

Все расчеты по спрямлению профиля пути удобно сводить в табл. 22.

## § 115. Удельные ускоряющие и замедляющие усилия поезда

По перегону поезд может двигаться в режиме тяги, выбега или торможения. В зависимости от этого на состав действуют силы: тяги  $F_k$ , сопротивления движению  $W_k$  и тормозная  $B_T$ . Их равнодействующая называется ускоряющей силой  $F_y$ . В общем случае

$$F_y = F_k - W_k - B_T. \quad (120)$$

Сила тяги направлена в сторону движения поезда, а силы сопротивления и торможения — наоборот. Следовательно, ускоряющая сила может изменять свое направление.

Удельная ускоряющая сила (т. е. отнесенная к единице веса состава)

$$f_y = f_k - \omega_k - b_T, \quad (121)$$

или

$$f_y = \frac{F_k - W_k - B_T}{(P + Q)g}, \quad (122)$$

где  $f_k$ ,  $\omega_k$ ,  $b_T$  — удельные силы тяги, сопротивления движению и тормозная, Н/кН;

$P$ ,  $Q$  — массы локомотива и состава, т.

Удельная ускоряющая сила равна:

а) в режиме тяги, когда  $b_T = 0$ ,

$$f_y = f_k - \omega_k; \quad (123)$$



Вычтя значение  $\omega_0$  из величины  $f_k$ , получим зависимость удельной ускоряющей силы  $f_y = f_k - \omega_0$  от параметра  $v$ , которая на рис. 149 изображена пунктирной линией.

Кривые  $\omega_k$  строят на том же графике, откладывая удельные сопротивления вправо от начала координат по горизонтали. Значения  $\omega_0$  и  $\omega_{0x}$  определяют по формуле (61), подставляя соответственно или сопротивление локомотива  $\omega'_0$  при тяге, или  $\omega_x$  — при выбеге.

На правой части графика в зависимости от скорости строят кривые изменения удельной силы  $b_T$  и суммарного сопротивления при торможении ( $b_T + \omega_{0x}$ ). Все кривые — для горизонтального участка.

Графики зависимости, изображенные на рис. 149, называются диаграммой ускоряющих (замедляющих) сил.

Кривая ( $f_k - \omega_0$ ) отражает удельную ускоряющую силу в режиме тяги, а кривые  $\omega_{0x}$  и ( $b_T + \omega_{0x}$ ) — соответственно замедляющие силы при выбеге и торможении поезда на площадке.

Диаграмма используется также при определении удельных сил на уклонах и в кривых. Для этого достаточно сдвинуть ось ординат влево (при подъеме) или вправо (при спуске) на величину, численно равную крутизне (или приведенному уклону).

Расчеты удельных сил с целью построения диаграммы для конкретных условий (тип локомотива, параметры состава, профиль пути) удобно выполнять в виде табл. 23. Данные для граф 1 и 2 берутся из паспортной кривой по заданному типу локомотива, а для граф 3, 5 и 10 они рассчитываются согласно соответствующим формулам (для вагонов и локомотивов) — исходя из конкретного задания. Данные остальных граф получают с помощью вычислений.

Тормозной коэффициент  $\varphi_p$  определяется следующим образом:

$$\varphi_p = \frac{\sum K_B}{Qg}. \quad (126)$$

По табл. 23 строят кривые ускоряющих сил для режимов:

- 1) тяги — по данным графы 9;
- 2) выбега — по данным графы 13;
- 3) полного торможения — по данным графы 16 (для режима служебного торможения следует подсчитать величину  $0,5 b_T + \omega_{0x}$ ).

$\omega_x$ , Н/кН	$\omega_x$ , Р <sub>г</sub> , Н	$\omega'_0 + \omega_x$ , Р <sub>г</sub> , Н	$\omega_{0x} = \frac{\omega_0 + \omega_x \cdot P_g}{(Q + P)g}$ , Н/кН	$\varphi_{k,p} = 0,27 \frac{v + 100}{5v + 100}$	$b_T = 1000a_{k,p}$ , Р <sub>г</sub> , Н/кН	$b_T + \omega_{0x}$ , Н/кН
10	11	12	13	14	15	16

от материала тормозных колодок.

## § 116. Уравнение движения поезда

Математическое выражение зависимости между ускорением и равнодействующей приложенных к поезду сил называется *уравнением движения поезда*. По законам механики это движение можно условно представить как движение массы  $m$ , сосредоточенной в центре тяжести состава и подвергаемой воздействию некоторой силы  $F_y$ .

По второму закону Ньютона

$$F_y = ma = (P + Q)a, \quad (127)$$

где  $a$  — ускорение поезда;

$P + Q$  — масса поезда.

Определив значение ускорения из уравнения (127), имеем

$$a = \frac{F_y}{P + Q}. \quad (128)$$

Формула (128) получена без учета размерностей. В соответствующих расчетах силы тяги и сопротивления выражают в ньютонах (Н), а массу — в тоннах (т). Чтобы ускорение подсчитывалось в общепринятых единицах ( $\text{м/с}^2$ ), правую часть данной формулы следует умножить на переводной коэффициент:

$$a = 0,001 \frac{F_y}{P + Q}. \quad (129)$$

Подставив значение  $F_y = F_k - W_k - B_r$  и умножив числитель и знаменатель на величину  $g$ , можем записать

$$a = 0,001 \frac{F_k - W_k - B_r}{P + Q} \frac{g}{g} = 0,001g (f_k - w_k - b_r) = 0,0098(f_k - w_k - b_r). \quad (130)$$

Полученное уравнение даст большие неточности, ибо при его выводе никак не учитывается инерция вращающихся масс поезда (колесных пар, якорей тяговых двигателей, шестерен передач и др.), которые стремятся иметь постоянную частоту оборотов и поэтому препятствуют как повышению ускорения, так и росту замедления поезда.

Приближенно воздействие колесных пар (якорей и пр.) можно учесть, увеличивая массу поезда сверх действительной ее величины, т. е. прибегая к некоторой «приведенной» массе

$$m_{\pi} = m + \gamma m = m(1 + \gamma), \quad (131)$$

где  $\gamma$  — коэффициент, учитывающий воздействие вращающихся масс.

Подставив это значение в уравнение (130) и повторив выкладки, имеем

$$a = \frac{0,0098}{1 + \gamma} (f_k - w_k - b_r) = \frac{0,0098}{1 + \gamma} f_y. \quad (132)$$

Введя новое обозначение постоянной величины

$$\zeta = \frac{0,0098}{1 + \gamma}, \quad (133)$$

получим

$$a = \zeta(f_k - w_k - b_r) = \zeta f_y, \quad (134)$$

или с учетом формулы (119)

$$a = \zeta(f_k - w_0 \pm i_k - b_r). \quad (135)$$

Выражения (134) и (135) называются уравнениями движения поезда. Это разные формы записи последних в элементарном виде (в отличие от дифференциальных уравнений, которые здесь не рассматриваются).

Если суммарную удельную ускоряющую силу, значащуюся в скобках формул (134) и (135), приравнять единице, то  $a = \zeta$ . Отсюда ясна физическая сущность данной величины.

Постоянная  $\zeta$  численно равна ускорению поезда при удельной равнодействующей силе 1 Н/кН. Обычно для расчетов принимают  $\gamma = 0,06$ . Тогда

$$\zeta = \frac{0,0098}{1 + 0,06} = 0,0092 \text{ м/с}^2. \quad (136)$$

Если уравнение движения решено, то легко по известным ускорениям вычислить для всего участка и отдельных его элементов скорость  $v$  и время хода  $t$  поезда.

Из формулы (134) видно, что знак ускорения  $a$  зависит от знака силы  $f_y$ , так как  $\zeta$  — постоянная величина. Если  $f_y > 0$ , поезд движется быстрее, при  $f_y < 0$  — замедленно, а при  $f_y = 0$  — равномерно, так как силы тяги и сопротивления уравновешиваются.

Изменения скорости поезда при движении по горизонтальному прямому участку пути показаны на рис. 150. За время  $t_n$  происходит пуск и разгон поезда до величины  $v_n$  с примерно постоянным значе-

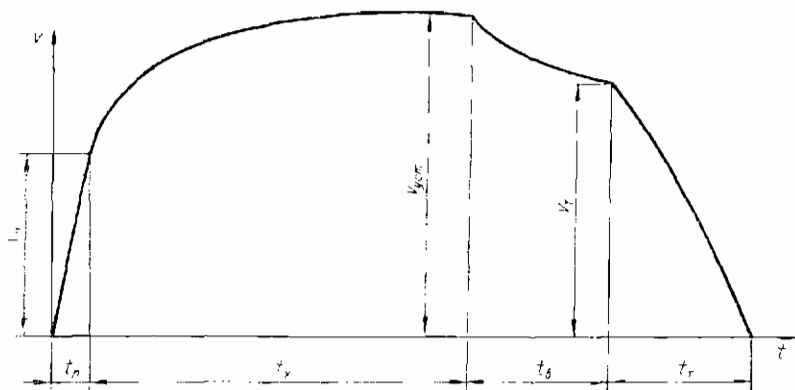


Рис. 150. Изменение скорости движения от времени при различных режимах движения.

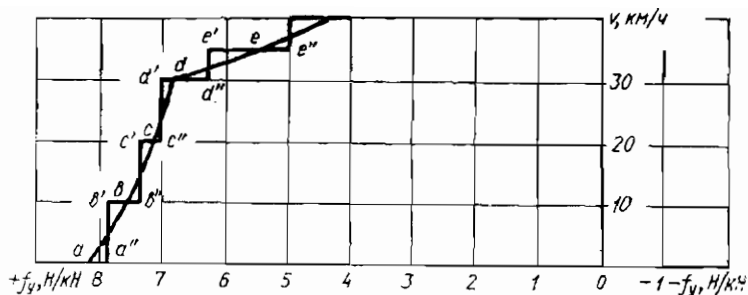


Рис. 151. Определение средних значений удельных ускоряющих сил.

нием  $a$ ; в этот период удельная ускоряющая сила  $f_y = f_k - \omega_0$  изменится в небольших пределах.

На следующем этапе движение осуществляется по ходовой характеристике, указанная выше сила  $(f_k - \omega_0)$  уменьшится; следовательно, значение  $a$  снижается, и скорость возрастает медленнее. При установившейся величине  $v_{уст}$  удельная сила тяги  $f_k = \omega_0$ . В период  $t_v$  поезд находится на выбеге, и скорость уменьшается за счет сил сопротивления движению. Затем при некотором ее значении  $v_t$  машинист включает тормозные приборы, и под действием замедляющей силы  $(\omega_{ох} + b_t)$  в течение времени  $t_t$  поезд останавливается.

Решить уравнение движения довольно трудно из-за сложной зависимости удельной ускоряющей силы  $f_y$  от параметра  $v$ . Поэтому на практике применяют приближенные методы решения, основанные на замене действующих величин  $f_y$  средними их значениями в выбранных интервалах скоростей.

На рис. 151 дан пример такой замены. При  $v = 0—10$  км/ч удельные ускоряющие силы снижаются по линии  $ab$  от 8,2 до 7,6 Н/кН. Вместо них вводим постоянную среднюю  $f_{y,ср} = 7,9$  Н/кН (линия  $a''b''$ ). При скорости от 10 до 20 км/ч линия  $bc$  заменяется на  $b''c''$ , при  $v = 20—30$  км/ч линия  $cd$  — на  $c''d'$  и т. д.

Таким образом, кривая  $f_y(v)$  приобретает вид ломаной линии  $a''b''c''c'' \dots$

Чем короче интервалы скоростей, тем меньше отличаются по величине средние значения  $f_{y,ср}$  от действительных, тем ближе будет ломаная линия совпадать с реальной характеристикой удельных ускоряющих сил. Но при этом возрастает объем вычислений. При больших интервалах скоростей данный объем уменьшается, однако и точность расчетов снижается.

Так как величину  $f_{y,ср}$  в пределах каждого интервала скоростей принимают постоянной, движение поезда при этом считается равноускоренным (или равнозамедленным). На диаграмме удельных ускоряющих сил ломаную линию практически не проводят: величина  $f_{y,ср}$  берется при среднем значении  $v$  в интервале.

### § 117. Расчет скорости и времени хода поезда методом равномерных скоростей и графическим способом

Основной задачей тяговых расчетов является определение массы поезда, времени хода и скорости движения по перегонам при полном использовании мощности локомотива и кинетической энергии состава.

При выполнении тяговых расчетов:

- 1) спрямляют профиль пути заданного участка;
- 2) предварительно определяют массу поезда;
- 3) рассчитывают и строят кривые удельных сил, действующих на состав при тяге, выбеге и торможении;
- 4) строят кривые скорости, времени и тока в зависимости от профиля пути;
- 5) проверяют массу поезда по условиям нагревания тяговых двигателей или главного генератора;
- 6) определяют расход электрической энергии или топлива на движение состава.

В настоящее время широко используется комплексный графический способ МПС при решении уравнения движения и построении кривой скорости. Он дает достаточно точные результаты, которые мало отличаются от действительных, обеспечивает наглядность характера движения по перегону и выбор наилучших режимов вождения поездов.

Графический метод предполагает два этапа. Это — построение кривых зависимости от длины пути:

- скорости  $v$  ( $S$ );
- времени движения  $t$  ( $S$ ).

При построении данных кривых, обычно выполняющемся на общей координатной сетке, пользуются масштабами, рекомендуемыми в табл. 24: 1, 2 и 3 — для грузовых и пассажирских поездов; 4 и 5 — для внутриобъектных (внутризаводских) путей длиной до 5—6 км; 6, 7 и 8 — для поездных и протяженных внутриобъектных путей; 9 и 10 — для тормозных расчетов.

Установлены следующие интервалы скоростей:

Таблица 24. Значения масштабов

Показатель	Обозначение масштаба	Рекомендуемые масштабы, мм									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Сила 1 Н/кН	$k$	12	6	10	5	4,8	10	9,6	5	1	2
Скорость 1 км/ч	$m$	2	1	2	2	2	2	2	1	1	2
Путь 1 км	$y$	40	20	48	96	100	48	50	24	120	240
Постоянная	$\Delta$	30	30	25	25	24	25	24	25	—	—
Время 1 мин	$x$	10	10	10	20	20	10	10	10	—	—
Время 1 ч	$X$	600	600	600	1200	1200	60	60	60	—	—

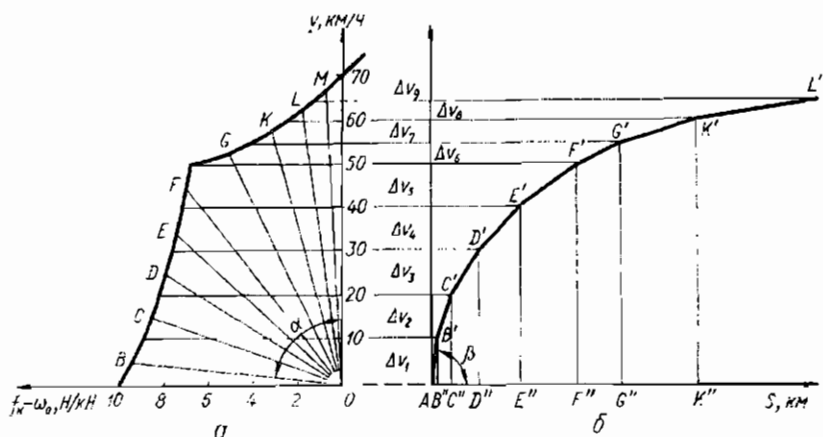


Рис. 152. Построение кривой скорости на площадке графическим способом.

а) в режиме тяги от  $v=0$  до скорости выхода на ходовую характеристику (на рис. 151 линия  $ad$ ) — не более 10 км/ч;

б) при расчетах движения на ходовых характеристиках — не свыше 5 км/ч;

в) при выбеге во всем диапазоне скоростей — не более 10 км/ч;

г) в режиме торможения при  $v=50-0$  км/ч — не свыше 5 км/ч, а при более высоких скоростях — до 10 км/ч.

При тяговых расчетах применяют значения величин с точностью: уклоны — до  $0,1^\circ/00$ ; расстояния для перегонов — до 0,1 км, а для элементов профиля — до 1 м; силы тяги, сопротивления и торможения — с округлением до 500 Н; удельные их значения — с точностью до 0,01 Н/кН; скорость — до 0,1 км/ч; масса грузового состава — с округлением до 50 т; перегонное время хода: расчетное — с точностью до 0,1 мин, для графика движения — 1 мин; ток — с округлением до 5 А; удельные расходы электрической энергии и топлива — соответственно до 0,1 кВт·ч/т·км и 0,1 кг/(10<sup>4</sup>·т·км), а затраты того и другого — до 10 кВт·ч и 10 кг; температура при расчетах нагревания по отдельным элементам — до 0,01°C, а для конечных результатов — 1°C.

При построении кривой скорости  $v(S)$  сначала необходимо в выбранном масштабе на миллиметровой бумаге изобразить кривые ускоряющих и замедляющих сил на площадке. После этого вычерчивают спрямленный профиль в направлениях «туда» и «обратно». Путь  $S$  откладывают по горизонтальной оси в масштабе  $u$ . Выбирая интервалы изменения скорости  $\Delta v$ , по кривым  $f_k - \omega_0 = f(v)$  строят кривую  $v(S)$  в масштабе  $m$ . Такое построение (рис. 152) начинают с момента трогания поезда со станции  $A$ . Взяв первый интервал приращения  $\Delta v_1 = 10$  км/ч, на кривой  $f_k - \omega_0 = f(v)$  отсчитывают точку  $B$ , которая соответствует средней величине  $\Delta v_1 / 2 = 5$  км/ч.

Точку  $B$  соединяют с началом координат  $O$ , а из точки  $A$  проводят перпендикуляр к линии  $OB$  в выбранном интервале  $\Delta v_1$ ; полу-

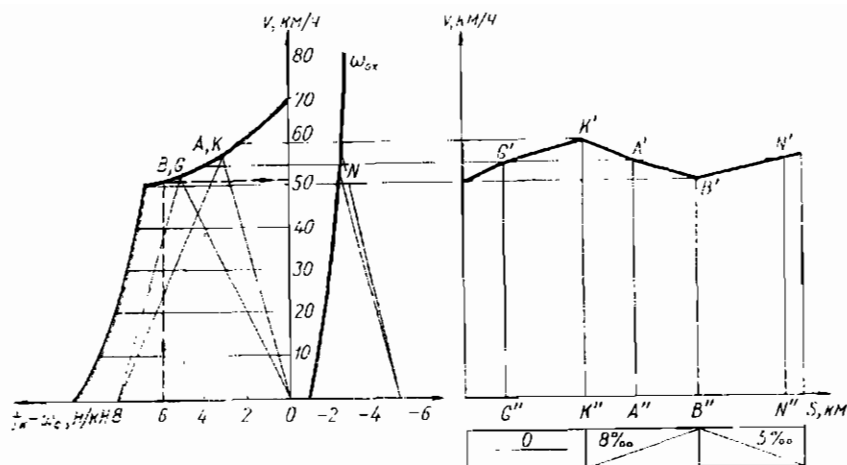


Рис. 153. Построение графическим способом кривой скорости на спуске и подъеме.

чают отрезок  $AB'$ , спрямляющий кривую скорости на участке пути  $AB''$ . Этот отрезок, легко строящийся с помощью линейки и угольника, образует угол  $\beta$  с осью абсцисс, равный углу  $\alpha$  между линией  $OB$  и осью ординат в диаграмме ускоряющих сил.

Дальнейшее построение кривой  $v(S)$  выполняется аналогично. Берут следующий интервал  $\Delta v$  (от 10 до 20 км/ч) и определяют средние значения: величины  $v$  для выбранного приращения (5 км/ч) и скорости с момента начала движения  $v_1 + \Delta v/2$  (15 км/ч). Для последней находят точку  $C$  на кривой ускоряющих сил. Затем из точки  $B'$  проводят перпендикуляр к линии  $OC$  во взятом интервале  $\Delta v_2$ ; получают отрезок  $B'C'$ , соответствующий кривой скорости, реализуемой на участке пути  $B''C''$  (и т. д.).

После выхода на автоматическую характеристику берут интервал приращения  $\Delta v = 5$  км/ч (точки  $G, K \dots$  — на кривой удельных сил  $\bar{f}_y$  и соответственно  $G', K' \dots$  — на кривой скорости).

При следовании локомотива на подъем кривая  $v(S)$  строится таким же образом, но точки на диаграмме ускоряющих сил соединяют не с началом координат, а с координатами на горизонтальной оси, которые соответствуют величине подъема (рис. 153). Их берут слева от точки  $O$ , чем уменьшают удельную ускоряющую силу  $\bar{f}_y - \omega_0$  на величину сопротивления от подъема  $i_k$ .

При ходе локомотива в режиме тяги по спуску к силе  $\bar{f}_y - \omega_0$  прибавляют величину силы от уклона  $i_c$ , которая будет совпадать с направлением движения поезда. В этом случае координаты принимают отрицательными — справа от их начала. При следовании по спуску на выбеге используют удельную силу сопротивления движению  $\omega_{ох}$ . Порядок построения ясен из рисунка.

Если  $\bar{f}_y - \omega_0 = 0$ , поезд движется с равномерной скоростью. Чтобы определить ее, необходимо на диаграмме ускоряющих сил

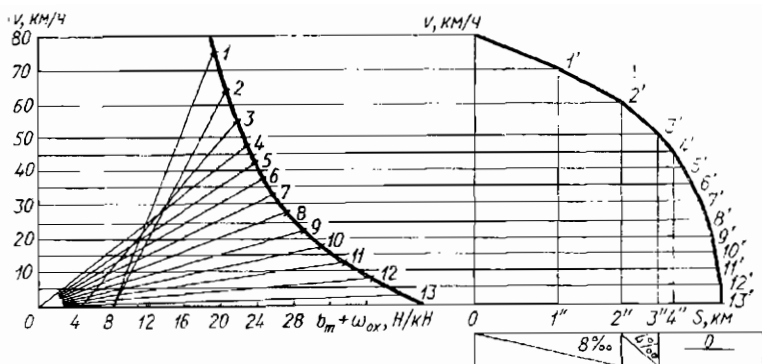


Рис. 154. Построение графическим способом кривой скорости при механическом торможении:  
1–13 — точки на кривой замедляющих сил; 1'–13' — точки на кривой скорости.

из точки на оси абсцисс, координата которой равна соответствующей величине уклона  $i$ , восстановить перпендикуляр до пересечения с кривой указанных сил, а затем провести отсюда горизонтальную линию до пересечения с осью скоростей. Полученная здесь точка определяет установившуюся величину  $v$  (на рис. 153 для  $i=6\text{‰}$  при следовании локомотива под током она составляет 51,5 км/ч).

Если поезд движется в режиме полного служебного торможения, кривую скорости строят по кривой замедляющих сил  $b_m + w_{ox} = f(v)$ . При подходе к раздельному пункту обычно применяется служебное торможение; соответственно построение производят по кривой  $0,5 b_m + w_0$ .

Чтобы установить момент и место начала торможения, кривую скорости при служебном торможении строят от пункта остановки в обратную сторону до пересечения с ранее полученной такой кривой для прямого направления. Пример подобного построения показан на рис. 154, из которого видно, что кривая  $v(S)$  позволяет определить момент начала торможения и длину тормозного пути.

Если поезд движется по затяжному спуску, то изучаемую кривую строят в виде «пилы», ибо приходится периодически применять торможение. Скорость при этом изменяется в пределах от максимальной допустимой до определенной величины при тяговом режиме, полученной в момент прекращения торможения. В данном случае (с целью упрощения) кривую  $v(S)$  можно изображать горизонтальной линией, которая проводится ниже допустимой скорости на величину  $\Delta v$ .

Значения  $\Delta v$  в зависимости от крутизны приведенного спуска для грузовых поездов даны в табл. 25.

На спусках до 5‰ допустимую величину  $v$  поддерживают действующим тормозом локомотива, поэтому  $\Delta v=0$ .

При проверке эффективности тормозов в пути следования ско-

Т а б л и ц а 25. Рекомендуемые пределы понижения скорости при построении кривой  $v(S)$  на затяжных спусках

Крутизна спуска ( $i$ , ‰)	6	8	10	12	14	16
Понижение скорости ( $\Delta v$ , км/ч)	10	7	4	6	6	7

рость грузовых поездов снижают на 20 км/ч, что необходимо учитывать при графическом изображении кривых.

Кривую времени  $t(S)$  строят по кривой скорости  $v(S)$ . Для этого влево от точки  $A$  (рис. 155) откладывают постоянный отрезок  $\Delta$ , выбираемый по величине таким, чтобы получить удобный масштаб времени (см. табл. 24). Из конца отрезка  $\Delta$  в точке  $K$  восстанавливают перпендикуляр к оси абсцисс  $KK'$ , а затем кривую  $v(S)$  условно разбивают на отдельные участки ( $A-B$ ,  $B-C$  и т. д.), которые ограничиваются, как правило, точками ее перелома.

Далее определяют среднее значение скорости  $v_{\text{ср}}$  — точки  $b$ ,  $c$ ,  $d$ , находящиеся по центру указанных выше участков. Эти точки проецируют с кривой  $v(S)$  на перпендикуляр  $KK'$ : получают точки  $b'$ ,  $c'$ ,  $d'$ , которые соединяют прямыми линиями с точкой  $A$ . Имеем углы  $\gamma_1$ ,  $\gamma_2$ ,  $\gamma_3$ . Их тангенсы пропорциональны средним скоростям.

Для построения кривой  $t(S)$  с помощью линейки и угольника проводим перпендикуляр из точки  $A$  к линии  $Ab'$  до точки  $B'$ . Отрезок  $AB'$  соответствует времени движения поезда на первом участке пути  $AB_1$  при изменении скорости от  $A$  до  $B$  (например, от 0 до 10 км/ч). Иными словами, отрезок  $\Delta S_1$  по оси абсцисс соразмерен с путем, который проходит состав за время  $t_1$  в интервале  $\Delta v_1$ .

Дальнейшее построение кривой  $t(S)$  продолжают от точки  $B'$  в пределах отрезка  $\Delta S_2$  и т. д. В итоге получают кривую  $t(S)$  для перегона. Общее время, которое соответствует пройденному расстоянию, определяют по оси ординат. Так, путь  $\Delta S_1 + \Delta S_2 + \Delta S_3$  поезд преодолит за время  $t_3$  (см. рис. 155).

Кривая  $t(S)$  постоянно растет вверх и на чертеже может не поместиться. Поэтому ее изображают частями. При достижении какого-то целого числа минут по оси ординат кривую времени прерывают и

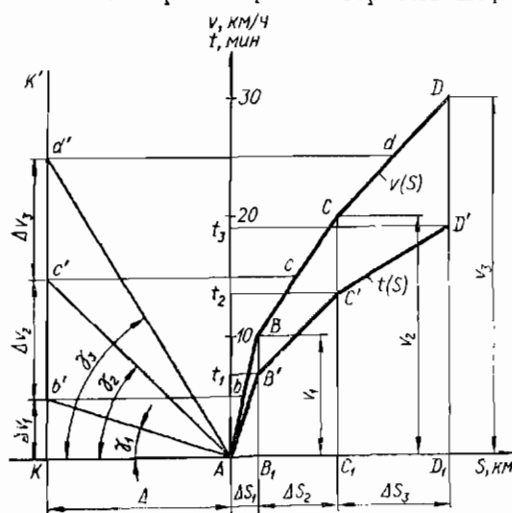


Рис. 155. Построение графическим способом кривой времени.

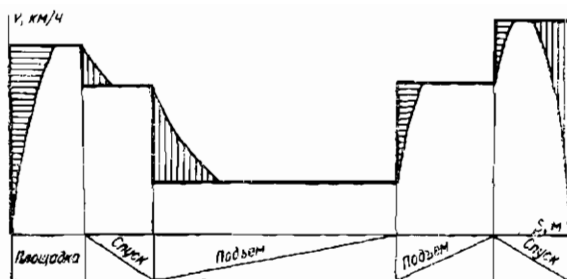


Рис. 156. Диаграмма изменения скорости движения поезда.

с ее конечной точки опускают перпендикуляр к оси абсцисс, из которой продолжают построение до следующего переноса.

Общее время хода поезда по перегону определяется суммой отдельных частей кривой  $t(S)$ .

Для приближенных расчетов времени хода поезда по перегону используют метод равномерных скоростей, основанный на предположении, что состав движется с установившейся величиной  $v$  в пределах каждого элемента профиля пути и мгновенно изменяет ее при переходе на новый участок. Разница между фактической кривой скорости и кривой, построенной по указанному способу, ясна из рис. 156, где заштрихованной площадью обозначена погрешность метода.

На участках, заштрихованных горизонтально, скорость постепенно возрастает, поэтому фактическое время движения по данному участку профиля будет несколько выше, чем определенное при расчете по равномерной скорости. Наоборот, при переходе от большей установившейся величины  $v$  к меньшей (на участках, заштрихованных вертикально) фактическое время движения будет ниже расчетного.

Сумма площадей, заштрихованных вертикально, всегда получается больше суммы площадей, заштрихованных горизонтально. Поэтому время хода при пользовании данным способом получится меньше фактического. Эту разницу во времени рекомендуется компенсировать ориентировочной прибавкой 1,5—2 мин на каждый поезд-перегон.

Для определения равномерных скоростей применяют совмещенные диаграммы (рис. 157) тяговых характеристик  $F_k(V)$  — кривая 4 — и сопротивления

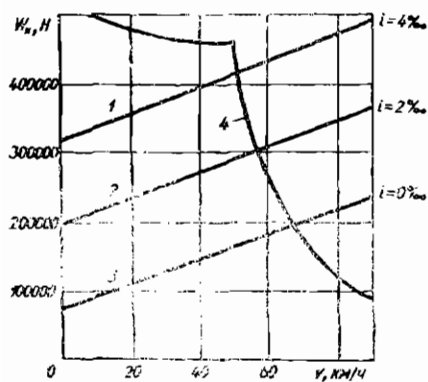


Рис. 157. Совмещение диаграмм  $F_k(v)$  и  $W_k(v)$  при определении равномерной скорости на различных элементах профиля пути: 1, 2, 3 —  $W_k(v)$ ; 4 —  $F_k(v)$ .

Т а б л и ц а 26. Форма таблицы расчета времени хода поезда

№ п/п	Элемент профиля	Сопротивление движению ( $W_0 + i$ ), Н/кН	Масса поезда ( $P+Q$ ), т	Сила тяги ( $F_k$ ), Н	Скорость движения ( $v$ ), км/ч	Время хода по элементу профиля ( $t$ ), мин
1	2	3	4	5	6	7

$W_k(v)$  на различных уклонах — кривые 1, 2 и 3, точки пересечения которых определяют искомые скорости, так как в данных точках  $F_k = W_k$ , что соответствует условию равномерного движения поезда.

Рассматриваемый метод часто используется в тяговых расчетах для карьерного транспорта, где максимальные скорости на передвижных уступных и отвальных путях обычно не превышают 20—25 км/ч. При этом время хода по участку пути (мин) длиной  $S$  (м) вычисляется следующим образом:  $t = 60 S / 1000v$ .

Расчет ведется последовательно для всех участков. При переходе поезда со станционных путей на передвижные необходимо учитывать, что изменяются величины  $\omega_0'$  и  $\omega_0''$ . При следовании порожняком в расчет принимаются значения  $Q_{пор}$ .

Расчет времени хода для каждого элемента профиля пути удобно сводить в табл. 26.

Общее время движения по всему участку определяется суммированием величин  $t$  по его отдельным элементам:

$$t_{\text{дв}} = \sum t_{\text{гр}} + \sum t_{\text{пор}} + t_{\text{р.з.}}, \quad (137)$$

где  $\sum t_{\text{гр}}$ ,  $\sum t_{\text{пор}}$  — общее время хода в грузовом и порожнем направлениях;

$t_{\text{р.з.}}$  — поправка, вводимая в случае остановок поезда на раздельных пунктах (2 мин на каждый разгон и 1 мин на замедление).

В условиях напряженного движения или ограниченной пропускной способности путей, а также при резко ломанном профиле откаточной колеи и коротких перегонах целесообразно пользоваться более строгими способами расчета скорости, так как степень точности описанного метода тем меньше, чем короче элементы профиля и чем больше разница в величине уклонов между смежными участками.

## Контрольные вопросы

1. Что такое спрямление профиля пути, зачем и как оно производится?
2. Что называется ускоряющей силой и как ее определить?
3. Как записывается уравнение движения поезда?
4. Что значит «решить уравнение движения поезда»?
5. Для чего и как строят диаграммы ускоряющих и замедляющих сил?
6. Какие практические вопросы и как решаются с помощью диаграммы ускоряющих и замедляющих сил?
7. Как выполняется построение кривой скорости графическим способом?
8. Как производится построение кривой времени графическим способом?
9. В чем сущность метода равномерных скоростей? Когда он применяется?

### § 118. Методы расчета массы поезда. Выбор расчетного подъема

Масса грузового поезда зависит от силы тяги локомотива, профиля пути, типа подвижного состава и степени использования машинистом кинетической энергии поезда.

Если профиль имеет явно выраженные подъемы значительной длины, массу состава определяют из условия его движения по затяжному подъему наибольшей крутизны (с учетом дополнительного сопротивления от существующих здесь кривых) при наименьшей равномерной (расчетной) скорости.

Подъем, по которому вычисляется масса поезда, называется *расчетным* на данном тяговом участке и обозначается через  $i_p$ .

Затяжной подъем имеет достаточную длину для того, чтобы скорость состава на нем установилась равномерной. Если же участки с крутыми подъемами характеризуются небольшой длиной, при которой не достигается такая скорость, массу поезда определяют с учетом использования кинетической энергии аналитическим или графическим способом. При этом значение  $i_p$  получается меньше величины подъема наибольшей крутизны.

Итак, в зависимости от характера профиля пути определение массы состава выполняется для условия установившейся скорости по расчетному затяжному подъему или с неравномерной скоростью при следовании по труднейшему крутому участку с использованием кинетической энергии.

При электрической и тепловозной тяге (с электропередачей) учитывают возможность проведения рассчитанной массы поезда по фактору нагревания тяговых электромашин.

Масса состава проверяется по условию трогания поезда с места на остановочных пунктах, а при необходимости — на расчетном подъеме.

### § 119. Расчет массы поезда из условий преодоления затяжного подъема

При равномерном движении по расчетному подъему сила тяги  $F_k$ , развиваемая локомотивом, уравновешивается полным сопротивлением поезда, т. е.

$$F_k = Pg(\omega_o' + i_p) + Qg(\omega_o'' + i_p), \quad (138)$$

откуда

$$Q = \frac{F_k - (\omega_o' + i_p)Pg}{(\omega_o'' + i_p)g}, \quad (139)$$

где  $P, Q$  — массы локомотива и состава, т;

$i_p$  — приведенный расчетный уклон (с учетом кривой).

Масса поезда зависит не только от величин  $F_k$  и  $i_p$ , но и от скорости движения по расчетному подъему  $v_p$ , поскольку от нее зави-

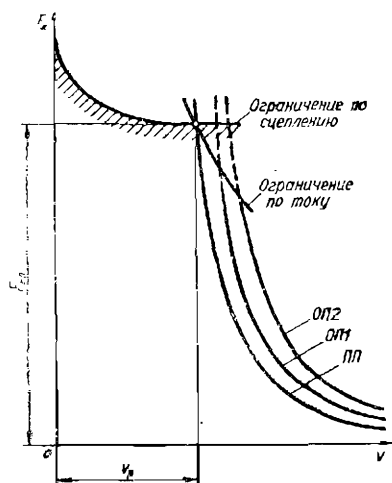


Рис. 158. Схема определения расчетных скорости и силы тяги у электровозов.

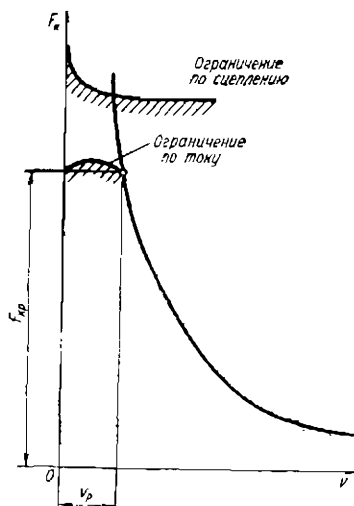


Рис. 159. Схема определения расчетных скорости и силы тяги у тепловозов.

сит как сила тяги, так и удельные сопротивления локомотива  $\omega_0'$  и состава  $\omega_0''$ . Поэтому сначала вычисляют параметр  $v_p$  — исходя из условия полного использования мощности локомотива при всех ограничениях его силы тяги.

Скорость  $v_p$  определяется по тяговым характеристикам электровоза в точке пересечения кривых ограничения силы  $F_k$  по сцеплению и току тяговых электродвигателей (рис. 158), а для тепловоза — таким же образом, но по дизелю и длительному току (рис. 159).

Расчетные величины силы тяги, скорости и некоторые другие данные локомотивов приведены в табл. 27.

Масса состава для электровозов и тепловозов может быть также подсчитана при помощи формул (139) и (48):

$$Q = \frac{P(1000\psi_k - \omega_0' - i_p)}{\omega_0'' + i_p}. \quad (140)$$

Для тяговых агрегатов масса прицепной части поезда без учета моторных вагонов (при равенстве удельных сопротивлений электровоза управления и этих вагонов)

$$Q_{пр} = \frac{(1000\psi_k - \omega_0' - i_p)[P_{э.у} + n_m(T_m + P_m)]}{\omega_0'' + i_p}, \quad (141)$$

где  $P_{э.у}$  — сцепная масса электровоза управления, т;

$n_m$  — число моторных думпкаров в составе, шт.;

$T_m, P_m$  — тара и грузоподъемность думпкара, т.

**Пример.** Определить величину  $Q$  для поезда, состоящего из четырехосных вагонов (на подшипниках скольжения) массой брутто

Таблица 27. Характеристики локомотивов для тяговых расчетов

Серия локомотива	Расчетная си- ла тяги ( $F_k$ ), Н	Расчетная скорость ( $v_p$ ), км/ч	Расчетная масса ло- комотива, ( $P$ ), т	Конструк- ционная скорость ( $v_k$ ), км/ч	Минималь- ный радиус проходи- мых кривых, м	Сила тяги при трогании ( $F_{k-тр}$ )* Н
<b>Тепловозы</b>						
ТГК	61300	5	25	30*	50	—
ТГК2	70600	5	28	30	50	73600
ТГМ23	127400	5	44	30	60	142800
ТГМ1	119900	5	48	30	60	154800
ТГМ3	191500	2	68	30	40	201800
ТГМ6	227600	5	88	40	40	—
ТЭ3	2×198200	20,5	2×126	100	125	2×274680
ТЭМ1	196200	9	120	90	80	353500
ТЭМ2	206100	12	120	100	80	353500
<b>Электровозы</b>						
ВКП1	117800	21,2	80	70	40	196200
Е2	162000	30,5	100	65	50	294500
Е1	242500	30,5	150	65	80	442000
13Е (21Е)	194400	28	150	65	60	442000
26Е	316000	28,7	180	65	60	490500
Д100	162000	31	100	70	80	324000
Д94	196200	30	94	85	80	304200

\* В числителе — для маневровой работы, в знаменателе — для поездной.

80 т и который может вести тепловоз серии ТЭ3 (одна секция) на подъеме  $i=12\%$  с кривой  $R=350$  м.

Решение. Расчетный подъем с учетом кривой устанавливаем при помощи формулы (70):

$$i_p = i_k = i + \frac{700}{R} = 12 + \frac{700}{350} = 14\%.$$

По табл. 27 находим для тепловоза ТЭ3 (одна секция)  $F_k = 198200$  Н,  $v_p = 20,5$  км/ч и  $P = 126$  т. Его удельное основное сопротивление [см. формулу (52)]  $\omega_o' = 1,9 + 0,01 \cdot 20,5 + 0,0003 \cdot 20,5^2 = 2,2$  Н/кН, а для вагонов [см. выражение (57)]

$$\omega_o'' = 0,7 + \frac{10}{200} (8 + 0,1 \cdot 20,5 + 0,0025 \cdot 20,5^2) = 1,3 \text{ Н/кН.}$$

Подставив полученные значения в формулу (139), имеем

$$Q = \frac{198200 - (2,2 + 14) \frac{126 \cdot 9,81}{(1,3 + 14) 9,81}}{\approx 1186 \text{ т.}}$$

## § 120. Расчет массы поезда с учетом использования его кинетической энергии

При наличии на участке профиля пути крутых подъемов с небольшой длиной, когда скорость движения не успевает снизиться до равномерной расчетной, массу состава определяют с учетом использования кинетической энергии аналитическим или графическим способом. При этом обычно применяют метод подбора (последовательного приближения) с последующей проверкой возможности проследования поезда по наиболее крутому, но незатяжному подъему.

Величину  $Q$  устанавливают по формуле (140), а затем одним из указанных способов проверяют, сможет ли состав с полученной массой пройти с максимальным использованием кинетической энергии по более крутым подъемам.

Проверка аналитическим методом производится следующим образом:

$$S \leq \sum \frac{4,17(v_{\kappa}^2 - v_{\Pi}^2)}{f_{\kappa, \text{ср}} - \omega_{\kappa, \text{ср}}} = S_1. \quad (142)$$

где  $S$  — длина проверяемого участка, который поезд должен пройти с учетом кинетической энергии (при этом скорость не должна быть ниже расчетной);

$v_{\Pi}, v_{\kappa}$  — соответственно начальная и конечная скорости интервала;

$f_{\kappa, \text{ср}}, \omega_{\kappa, \text{ср}}$  — средняя ускоряющая сила, действующая на состав в пределах от  $v_{\Pi}$  до  $v_{\kappa}$ ;

$\omega_{\kappa, \text{ср}}$  — общее удельное сопротивление движению с учетом сопротивления от подъема.

Если после подсчета по формуле (142) величина  $S_1$  получится большей, чем длина проверяемого подъема  $S$ , массу поезда повышают на 100 т и снова производят проверку согласно указанной формуле. В противном же случае состав с такой массой крутой подъем не пройдет: надо уменьшить ее и повторить весь проверочный расчет. Значения  $v_{\kappa}$  и  $v_{\Pi}$  принимаются равными. Иногда конечную скорость снижают на 3—5 км/ч (против величины  $v_{\Pi}$ ) на расстоянии не более 500 м.

При определении массы состава графическим способом надо построить кривые скорости  $v(S)$  для предполагаемого наиболее трудного подъема. Их начинают проводить с элемента пути, где параметр  $v$  может быть известным заранее (например, от раздельного пункта с остановкой, от предшествующего участка, на котором поезд способен достигнуть максимальной допустимой или равномерной скорости и т. п.) Кривые  $v(S)$  строят для заданного ло-

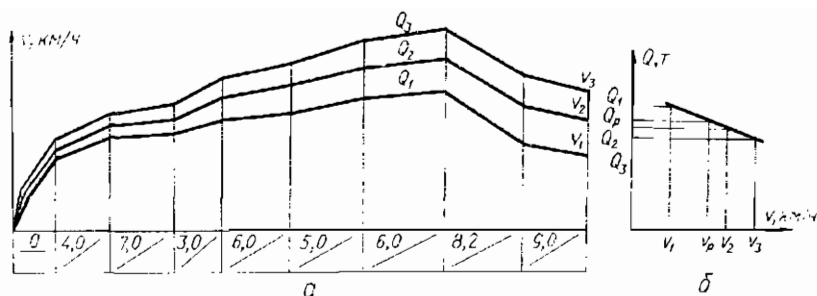


Рис. 160. Графическое определение веса состава при неустановившемся движении.

комотива при различной массе составов —  $Q_1$ ,  $Q_2$  и  $Q_3$  (рис. 160, а). По величинам  $v_1$ ,  $v_2$  и  $v_3$  «находят» кривую  $Q(v)$ : в выбранном масштабе по оси абсцисс откладывают указанные скорости, а по оси ординат — значения  $Q_1$ ,  $Q_2$  и  $Q_3$  (см. рис. 160, б).

По этому графику определяют расчетную массу состава: на ось абсцисс наносят величину  $v_p$  для заданного локомотива и из полученной точки восстанавливают перпендикуляр до пересечения с линией  $Q(v)$ . Точка данного пересечения, спроектированная на ось ординат, будет соответствовать расчетной массе состава  $Q_p$ .

## § 121. Подбор локомотива для состава заданной массы

Для внутризаводских путей промышленного транспорта величина  $Q$  иногда определяется условиями технологического процесса производства:

- массой одновременной выдачи продукции (чугуна, стали, шлака);
- мощностью погрузочно-разгрузочных устройств;
- длиной фронтов погрузки (выгрузки);
- соотношением времени погрузочно-разгрузочных работ и следования в пути;
- нормой массы поезда для примыкающей железной дороги и др.

В таких условиях подбирается требуемый локомотив. Его теоретическая масса  $P_i$  при заданной величине  $Q$  и движении на расчетном подъеме  $i_p$  с удельным основным сопротивлением  $w_0$  выглядит как

$$P_i = \frac{Q(w_0 + i_p)}{1000 \Psi_k - w_0 + i_p}, \quad (143)$$

где  $\Psi_k$  — коэффициент сцепления локомотива при движении с расчетной скоростью.

Фактическая масса выбранного локомотива  $P$  должна быть равна или несколько больше теоретической  $P_i$ .

## § 122. Проверка на трогание состава с места

Обычно поезд трогается с места на остановочных пунктах, располагающихся на площадках или небольших уклонах. При этом локомотиву необходимо развить такую силу тяги, чтобы ее было достаточно для преодоления основного и дополнительного сопротивлений, возникающих в момент трогания. Уравнение равновесия сил в данном случае

$$F_{\text{к.тр}} = Q_{\text{тр}} g (\omega'_0 + \omega'_{\text{тр}} + i_{\text{тр}}) + P g (\omega'_0 + \omega'_{\text{тр}} + i_{\text{тр}}), \quad (144)$$

откуда

$$Q_{\text{тр}} = \frac{F_{\text{к.тр}} - (\omega'_0 + \omega'_{\text{тр}} + i_{\text{тр}}) P g}{(\omega''_0 + \omega''_{\text{тр}} + i_{\text{тр}}) g}, \quad (145)$$

где  $F_{\text{к.тр}}$  — сила тяги, реализуемая в момент трогания с места (ее значение выше силы  $F_{\text{к}}$ , принимаемой для расчета массы поезда);

$\omega'_0, \omega''_0$  — удельное основное сопротивление локомотива и состава при скорости  $v = 10$  км/ч;

$\omega'_{\text{тр}}, \omega''_{\text{тр}}$  — такое же дополнительное сопротивление;

$i_{\text{тр}}$  — расчетный уклон при трогании.

При упрощенных расчетах допускают, что

$$\omega'_0 \approx \omega''_0 \approx \omega_0; \quad \omega'_{\text{тр}} \approx \omega''_{\text{тр}} \approx \omega_{\text{тр}}. \quad (146)$$

Формула (145) в этих условиях

$$Q_{\text{тр}} = \frac{F_{\text{к.тр}}}{(\omega_0 + \omega_{\text{тр}} + i_{\text{тр}}) g} - P. \quad (147)$$

Величины  $F_{\text{к.тр}}$  для локомотивов приведены в табл. 27.

Полное удельное сопротивление (основное и дополнительное) поезда при трогании с места равно для подвижного состава:

а) на подшипниках скольжения

$$\omega_0 + \omega_{\text{тр}} = \frac{1393}{q_0 + 68,7}, \quad (148)$$

б) на подшипниках качения

$$\omega_0 + \omega_{\text{тр}} = \frac{275}{q_0 + 68,7}, \quad (149)$$

где  $q_0$  — средняя нагрузка от оси на рельсы.

Нагрузка  $q_0$  определяется следующим образом:

$$q_0 = \frac{(P + Q)g}{n_{\text{л}} + n_{\text{в}}}, \quad (150)$$

где  $n_{\text{л}}, n_{\text{в}}$  — число осей локомотива и вагонов.

Расчетная масса состава по формуле (145) должна быть меньше массы, которую получают при условии трогания с места:

$$Q \leq Q_{\text{тр}}. \quad (151)$$

Для промышленного транспорта величину  $Q$  также проверяют по условиям трогания на расчетном подъеме:

$$Q = \frac{F_{\text{к.тр}} - P(\omega'_0 + i_{\text{тр}} + w_{\text{тр}} + 108a)g}{(\omega''_0 + i_{\text{тр}} + w_{\text{тр}} + 108a)g}, \quad (152)$$

где  $a$  — ускорение поезда в начальный момент, принимаемое в пределах 0,025—0,050 м/с<sup>2</sup>.

Для вывозной работы, технологических перевозок жидкого чугуна, шлака и горячих слитков  $a=0,05$  м/с<sup>2</sup>, при маневровых операциях  $a=0,1$  м/с<sup>2</sup>, а в случае неожиданной остановки  $a=0,02$  м/с<sup>2</sup>.

**Пример.** Может ли тепловоз серии ТЭЗ (одна секция) взять с места состав массой  $Q=1060$  т при остановке его на раздельном пункте, который расположен на подъеме 4‰. Поезд сформирован из груженых шестипосных думпкаров.

**Решение.** Массу состава, которая может быть тронута с места, определим по формуле (152). Согласно табл. 27  $F_{\text{к.тр}}=274680$  Н

и  $P=126$  т. При  $v=10$  км/ч [см. уравнение (52)]  $\omega_0=1,9+0,01 \times 10+0,0003 \cdot 10^2=2,03$  Н/кН.

В соответствии с выражением (60) и табл. 21 при  $v=10$  км/ч  $\omega_0=3,6+0,015 \cdot 10=3,75$  Н/кН.

Дополнительное сопротивление от уклона  $i_{\text{тр}}=4‰$  составит:  $w_{\text{тр}}=4$  Н/кН. Тогда

$$Q_{\text{тр}} = \frac{274680 - 126(2,03 + 4 + 4 + 108 \cdot 0,05) 9,81}{(3,75 + 4 + 4 + 108 \cdot 0,05) 9,81} = 1790 \text{ т.}$$

Так как  $Q_{\text{тр}} > Q$ , тепловоз серии ТЭЗ (одна секция) может тронуть с места поезд массой 1060 т.

## § 123. Диаграмма равновесных скоростей

В связи с наличием на промышленном железнодорожном транспорте коротких перегонов, характеризующих частыми разгонами поезда и торможением, при решении задач по тяговым расчетам рекомендуется использовать соответствующие диаграммы равновесных скоростей, строящиеся для маневрового и поездного режимов по каждой серии локомотива. Этот способ прост и достаточно точен. Он призван помочь машинистам более грамотно эксплуатировать тепловозы, с тем чтобы повысить производительность труда.

Равновесные скорости определяются графическим способом как точки пересечения тяговой характеристики тепловоза и кривых общего сопротивления поезда. Диаграмма позволяет:

1) по известной массе  $Q$  и руководящему подъему определить эти скорости;

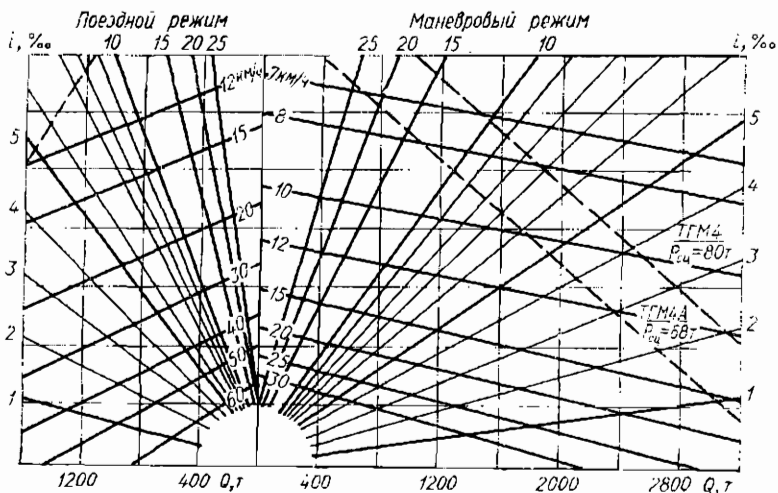


Рис. 161. Диаграмма равновесных скоростей тепловоза ТГМ4.

2) по установленной величине  $v$  на том же подъеме вычислить массу поезда;

3) рассчитать максимальное значение  $Q$  при трогании с места на различных подъемах.

На рис. 161 в качестве примера показана диаграмма для тепловозов ТГМ4 и ТГМ4А. Сплошные наклонные линии, выходящие веером из нулевой точки, представляют собой зависимости силы тяги, необходимой для преодоления подъемов, от массы состава. Вторая группа сплошных линий соответствует сопротивлению движению на прямом горизонтальном участке при определенных скоростях, указанных на оси ординат.

По наклонным штриховым линиям находят максимальную массу поезда при трогании с места.

**Пример.** Определить равновесную скорость состава с тепловозом ТГМ4 на руководящем подъеме  $i=5\text{‰}$ , если  $Q=800$  т. Режим — поездной.

**Решение.** Из точки  $Q=800$  т (см. рис. 161) восстанавливаем перпендикуляр до пересечения лучом  $i=5\text{‰}$ . Через полученную здесь точку проводим линию, параллельную наклонным, и, интерполируя, имеем  $v=25$  км/ч.

**Пример.** Установить максимальную массу поезда, которую тепловозы ТГМ4 и ТГМ4А могут (каждый в отдельности) тронуть с места на подъеме  $i=8\text{‰}$  при нормальных условиях сцепления колес с рельсами. Режим — маневровый.

**Решение.** Из точек пересечения штриховых линий (соответственно для того и другого локомотива) и луча  $8\text{‰}$  опускаем перпендикуляры на ось абсцисс. Получаем  $Q_1=1775$  т (ТГМ4) и  $Q_2=1500$  т (ТГМ4А).

Видим, что увеличение сцепной массы тепловоза ТГМ4 за счет балласта на 12 т повышает массу поезда по сравнению с тепловозом ТГМ4А при одних и тех же условиях на 275 т.

Диаграмма дает возможность определить значение  $Q$  при установившейся величине  $v$  на расчетном подъеме. При подходе к нему со значительной скоростью может быть использована кинетическая энергия состава, что позволяет тем же тепловозом вести по участку поезд большей массы. Величина  $Q$  для таких участков устанавливается точным расчетом или опытным путем с учетом скорости движения.

#### § 124. Проверка массы состава по длине приемно-отправочных путей и по тормозной обеспеченности

На промышленном транспорте нередко возникает необходимость ограничения массы поезда по длине приемно-отправочных путей в местах его погрузки и выгрузки. Для поездной работы длина состава не должна превышать полезную длину этих путей ( $l_n$ ) с учетом допуска 10 м:

$$l_n \geq n l_v + l_l + 10, \quad (153)$$

где  $n$  — количество вагонов в поезде, шт.;

$l_v, l_l$  — длина вагона и локомотива, м.

Сущность проверки тормозной обеспеченности состава при поездной и вывозной работе с включенными тормозами вагонов изложена в гл. 31 (§ 113).

Для увеличения тормозной силы локомотива ( $B_T$ ) на металлургических заводах практикуется постановка в поезд с нетормозными вагонами (ковшами, тележками и др.) специальных платформ, загруженных балластом и оборудованных автотормозами. Образующиеся таким образом силы  $B_T$  и дают (в сумме своей) нужный эффект. Количество указанных платформ определяют исходя из потребности тормозных осей ( $n_T$ ).

Для расчета необходимого числа  $n_T$  задаемся тормозным путем  $S_T \leq 300$  м, начальной скоростью  $v_n = v_{\max}$ , массой локомотива  $P$  и состава  $Q$ , а также руководящим спуском, т. е. с наибольшей его крутизной за вычетом сопротивления от кривых. Надо определить тормозной коэффициент  $v_p$  и число  $n_T$ .

При решении задачи для нескольких выбранных значений  $v_p$  (например,  $v_{p1}=0,3$ ,  $v_{p2}=0,4$ ,  $v_{p3}=0,5$ ) рассчитывают замедляющие силы  $b_T + \omega_{ox} = f(v)$  и строят диаграммы для каждого коэффициента  $v_p$  (рис. 162, а). Затем составляют графики действительных тормозных путей  $S_d(v)$  по диаграмме названных выше сил (см. гл. 32, §117) и находят величины  $S_{d1}$ ,  $S_{d2}$  и  $S_{d3}$  (см. рис. 162, б). Далее по заданной скорости  $v_n$  и коэффициентам  $v_p$  определяют предтормозные пути  $S_{п1}$ ,  $S_{п2}$  и  $S_{п3}$  согласно формуле (106).

Полный тормозной путь будет равен:  $S_{T1} = S_{п1} + S_{d1}$ ,  $S_{T2} = S_{п2} + S_{d2}$  и  $S_{T3} = S_{п3} + S_{d3}$ . По точкам  $(S_{T1}, v_{p1})$ ,  $(S_{T2}, v_{p2})$  и

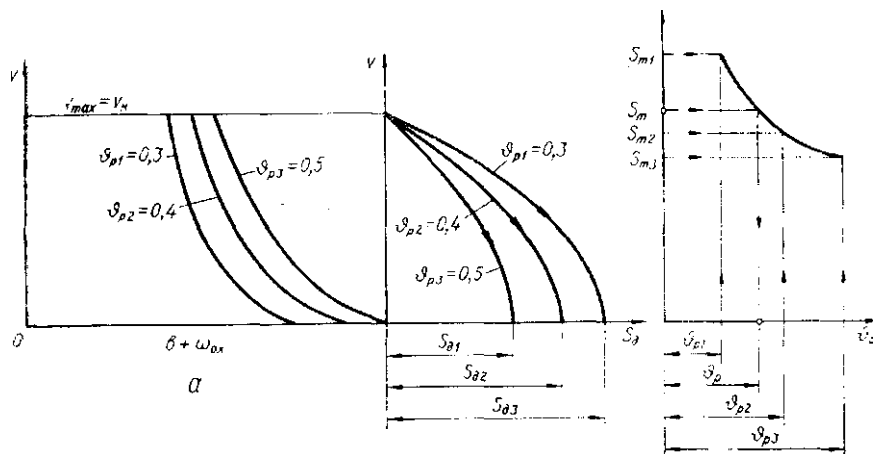


Рис. 162. Определение тормозного коэффициента поезда.

( $V_{тз}$ ,  $V_{рз}$ ) строят (см. рис. 162; в) график  $V_{тз}$  (ур), на котором по заданному значению  $V_{тз}$  находят искомый коэффициент  $U_{р}$ .

Суммарное расчетное нажатие тормозных колодок, обеспечивающее необходимый коэффициент  $V_{р}$ ,

$$= + \quad (154)$$

Наконец, зная величину  $K_{р}$  для локомотива, нетрудно вычислить потребное количество тормозных платформ.

## Контрольные вопросы

1. От каких факторов зависит величина массы поезда?
2. Что такое расчетный подъем и как он определяется?
3. Какие существуют методы определения массы поезда, где и как их применяют?
4. Как производится проверка массы состава на прохождение им подъемов, больших расчетных по крутизне, за счет использования кинетической энергии?
5. Как проверяется масса поезда по условию трогания с места и обеспеченности тормозами?

## Глава 34. РАСХОД ЭНЕРГОРЕСУРСОВ НА ТЯГУ ПОЕЗДОВ

### § 125. Расчет расхода энергии электровозом

Расход электроэнергии на движение поезда (кВт·ч), отнесенный к токоприемнику локомотива, определяется суммированием такого расхода по отдельным элементам профиля:

$$A = \sum_{i=1}^n \frac{X_{ср}^2}{60 \cdot 1000} \cdot t_i \quad (155)$$

где  $I_{ср}$  — ток, потребляемый на каждом элементе профиля. А;  
 $t_i$  — время движения по данному элементу профиля, мин;  
 $U_{ср}$  — средняя величина напряжения в контактном проводе, В.

Значение  $I$  при той или иной скорости движения устанавливается по электромеханической характеристике двигателя. Умножив это значение на число параллельных цепей соответствующей схемы включения тяговых машин, получают ток электровоза.

Расход электроэнергии на движение Лдв можно рассчитать приближенно без определения по отдельным элементам профиля. Такой расход за один оборот состава, выраженный через глубину карьера и длину откатки,

$$L_{\text{да}} = \frac{L_{\text{отв}}}{\lambda}, \quad (156)$$

где  $\lambda$  — длина откатки в один конец, км;

$\lambda$  — разность отметок исходного и конечного ее пунктов (уступ—отвал), м;

$L_{\text{отв}}$  — длина участка откатки, на котором производится торможение, м (обычно он состоит из капитальной траншеи и съезда с отвала).

При транспортировании с нескольких уступов в значение  $\lambda$  входит средневзвешенная длина уступных  $\lambda_{\text{у}}$  и отвальных  $\lambda_{\text{отв}}$  путей, а в величину  $\lambda$  — средневзвешенная глубина карьера  $\lambda_{\text{к}}$  и высота отвала  $\lambda_{\text{отв}}$

(157)

$$\lambda = \lambda_{\text{отв}} + \lambda_{\text{у}} = (1,08)$$

и

$$\lambda_{\text{отв}} = \frac{V_{\text{отв}}}{V_{\text{у}}} \quad (160)$$

где  $\lambda_{\text{у}}$ ,  $\lambda_{\text{отв}}$  — объем горной массы, поступающей с уступа или на отвал, м<sup>3</sup>;

$\lambda_{\text{у}}$ ,  $\lambda_{\text{отв}}$  — средняя их длина, км;

$\lambda_{\text{у}}$ ,  $\lambda_{\text{отв}}$  — высота уступа в карьере и отвала, м.

Общие затраты энергии за один оборот локомотивосостава  $L_{\text{об}}$  складываются из расхода ее на движение Лдв, собственные нужды электровоза  $L_{\text{с}}$  и маневровую работу  $L_{\text{ман}}$ . При этом  $L_{\text{с}} = (0,15 - 0,2) L_{\text{дв}}$ . Величина  $L_{\text{ман}}$  зависит от соответствующего профиля пути и равна  $(0,1 - 0,3) L_{\text{дв}}$ .

Удельные расходы энергии  $a'$  и  $a''$  — на 1 т груза и на 1 т-км (кВт-ч/т и кВт-ч/т-км) — составляют

(161)

(162)

## § 126. Расчет расхода топлива тепловозами

Такой расчет производится по кривым скорости и времени, обусловливающим режим работы тепловоза и его продолжительность. Для каждого элемента профиля принимают: скорость — постоянной, равной среднему ее значению, а расход топлива — соответствующим этой скорости.

По кривой времени устанавливают продолжительность работы тепловоза на каждом элементе. Тогда по участку общий расход топлива

$$\Lambda = 2 \text{ ОА}^{\wedge} + \quad (163)$$

где  $C$  — затраты его при определенном режиме работы (постоянной скорости на одной из позиций контроллера), кг/мин;

$D$  — время работы дизеля, в пределах которого величина  $V$  принята неизменной, мин;

$1, x, \wedge x$  — потребление топлива силовыми установками локомотива и время движения поезда (то и другое на холостом ходу), кг/мин и мин.

Расход топлива в минуту на различных режимах определяется опытным путем при испытаниях тепловоза. Соответствующие данные приводятся в его паспорте и в ПТР в виде диаграмм. Пример такой диаграммы показан на рис. 163. Величина  $C$  зависит от скорости, позиции контроллера (1—16) и режима работы тяговых двигателей с возбуждениями — полным (СП) и двумя ослабленными (ОШ, ОП2).

При подсчетах потребления топлива локомотивом на холостом ходу *и при* стоянках, когда дизель не выключается, пользуются диаграммами, приведенными на рис. 164.

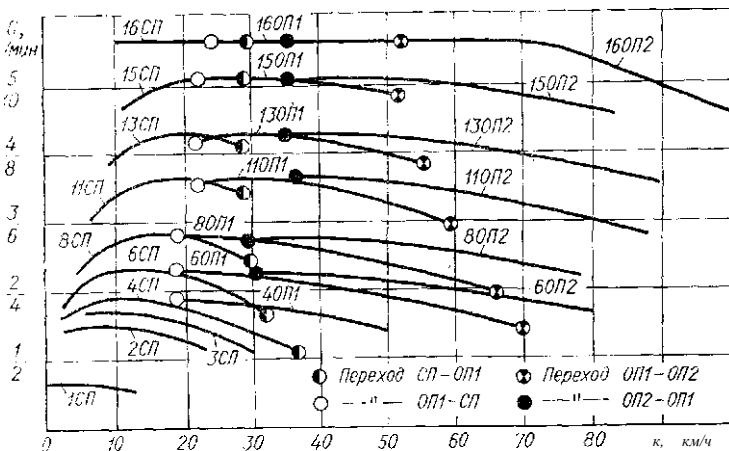
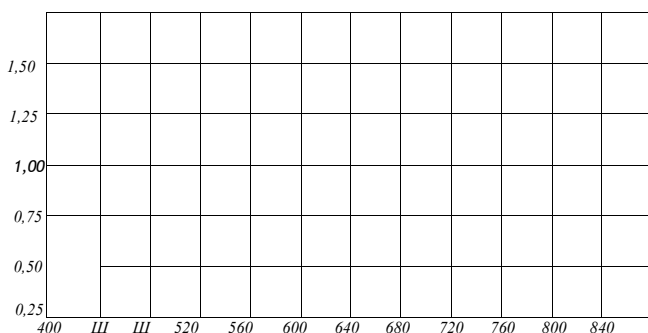


Рис. 163. Кривые расхода топлива тепловозом ТЭЗ в режиме тяги — одной секцией (числитель) и двумя (знаменатель).



**Рис. 164.** Кривые расхода топлива тепловозом ТЭЗ на холостом ходу:  
1,2 — вентиляторы работают в летнем и зимнем режимах; 3 — вентиляторы выключены.

**Пример.** Определить расход топлива тепловозом ТЭЗ, который следует с поездом по участку на 16-й позиции контроллера со средней скоростью  $U_{\text{ср}} = 30$  км/ч при  $t = 15$  мин и с выключенной нагрузкой в течение ( $t = 3$  мин).

**Решение.** Согласно диаграмме (см. рис. 163) при указанных выше позиции и скорости величина  $C$  составит 11,3 кг/мин, а значение  $\epsilon_x$  в соответствии с диаграммой, изображенной на рис. 164, при  $L_d = 610$  мин $^{-1}$  (вентилятор работает в летнем режиме) будет равно 0,88 кг/мин. Для обоих дизелей 2Д100 в холостом режиме  $\gamma_x = 1,76$  кг/мин. Общий расход топлива [см. формулу (163)]  $E = 11,3 \cdot 15 + 1,76 \cdot 3 = 175$  кг.

Чтобы сопоставить выполненную тепловозом работу с потреблением топлива, пользуются удельным его расходом на измеритель 10000 т-км брутто [кг/(10 $^4$  т-км)]:

$$E = \frac{10^4}{\gamma} \quad (164)$$

где  $\gamma$  — длина участка, м.

Удельный расход натурального топлива вычисляют затратами условного [кг/(10 $^4$  т-км)]:

$$\gamma_{\text{у}} = \epsilon \cdot \gamma, \quad (165)$$

где  $\epsilon$  — эквивалент дизельного топлива.

Значение  $\epsilon$  выглядит как

$$\epsilon = \frac{d_p}{29300}. \quad (166)$$

В числителе и знаменателе здесь теплотворная способность соответственно дизельного и условного топлива (кДж/кг).

**Пример.** Для условий предыдущего примера определить удельный расход натурального и условного топлива на измеритель 10000 т-км брутто. Длина участка 16,5 км, масса состава 2500 т, теплотворная способность — 43120 кДж/кг.

Решение. Как известно  $E = P \cdot B$  кг.  $\text{Сси}^{\wedge} \text{тсмо} (l) \cdot l_{\text{му}} \cdot c$  (1(1))

$$\wedge = 2500^{\wedge} 6,5 \quad 10^{\wedge} = 42.4 \quad \text{кг}/(10^{\wedge} \cdot \text{т.}, \text{ш}).$$

Тепловой эквивалент [см. формулу (166)]  $\Delta = 4; \text{И}2() : \wedge \text{ОЧОО}$   
 $= 1,47$ . В соответствии с уравнением (165)  $\wedge > 42,4 \cdot 1/17$   
 $= 62,3 \text{ кг}/(104\text{-т-км})$ .

## § 127. Определение расхода топлива при вывозной и маневровой работе

Вывозная работа на промышленном транспорте характеризуется относительно большими расстояниями и значительной массой поездов, что приближается к условиям грузовой работы на путях МПС. Поэтому нормирование расхода топлива при тяговых расчетах производится по мощности дизеля на соответствующей позиции контроллера (см. диаграмму для тепловоза ТЭЗ на рис. 163).

При теоретическом определении расхода топлива делается расчет времени движения локомотива с составом по перегону (табл. 28). Вычисления ведутся для конкретного участка профиля, серии тепловоза и массы поезда. В первую очередь определяется позиция контроллера, на которой движется локомотив по каждому участку.

При разгоне состава для упрощения расчетов условно принято, что рукоятка контроллера занимает 8-ю позицию, а на холостом ходу, при выбеге и торможении — нулевое положение.

Зная предельную величину  $u$  для элемента профиля, определяют позицию контроллера, которая обеспечит движение поезда с максимальной скоростью. С этой целью вычисляется необходимая эффективная мощность дизеля (кВт):

$$\frac{V/P - l - O}{\text{Ш7-Г1}} \quad (167)$$

где  $\text{шк}$  — приведенный уклон на элементе профиля, %;  
 — степень приближения характеристики реального тепловоза к идеальному (для разных серий локомотивов колеблется от 0,6 до 0,75);

Таблица 28. Время хода тепловоза с составом

Номер участка	Длина, м	Уклон, %	Предельная скорость, км/ч	Средняя скорость, км/ч	Время хода, ч
	.... 1 ....				
					Итого

Таблица 29. Расход топлива тепловозами ТЭМ1 и ТЭ3 по генераторной характеристике

Позиция контроллера	ТЭМ1			ТЭ3		
	$n$ , мин <sup>-1</sup>	$N_e$ , кВт	$g_r$ , г/кВт.ч*	$n$ , мин <sup>-1</sup>	$N_e$ , кВт	$g_r$ , г/кВт.ч
0—1	300	155	—	400	206	—
2	365	235	0,280	430	279	0,282
3	420	294	0,267	460	338	0,278
4	495	389	0,239	490	412	0,253
5	550	470	0,234	520	500	0,251
6	615	552	0,234	550	588	0,248
7	675	624	0,239	580	691	0,242
8	740	735	0,245	610	764	0,239
9	—	—	—	640	823	0,237
10	—	—	—	670	940	0,233
11	—	—	—	700	1028	0,231
12	—	—	—	730	1117	0,231
13	—	—	—	760	1176	0,234
14	—	—	—	790	1324	0,238
15	—	—	—	820	1396	0,239
16	—	—	—	850	1470	0,242

\*  $n$  — частота вращения дизеля,  $N_e$  — эффективная мощность,  $g_r$  — удельный расход топлива на единицу эффективной мощности в час.

Таблица 30. Расход дизельного топлива на 1 ч холостой работы тепловоза и на собственные нужды (кг)

Тепловозы	Холостая работа	Собственные нужды	Всего	Тепловозы	Холостая работа	Собственные нужды	Всего
ТЭ3*	21	6	27	ТГМ3А	7,5	2,5	10
ТЭМ2	10	3	13	ТГМ23	5	2	7
ТГМ6	9	2,5	11,5	ТГМ1	5	2	7
ТЭ1,				ТГК2	4	1,5	5,5
ТЭМ1	9	3	12				

\* Одна секция.

$N_k$  — средняя касательная мощность локомотива на установленной в данный момент позиции рукоятки контроллера, кВт.

Расход топлива тепловозами ТЭМ1 и ТЭ3 по генераторной характеристике и при их холостой работе дан в табл. 29 и 30. Соответствующие расчеты сводятся в табл. 31. Величины  $G$  и  $t_{дв}$  определяются в направлениях «труда» и «обратно».

Общая формула суточного расхода топлива при вывозной работе имеет следующий вид:

$$G = n_p (G_{пр} + G_{об}) + [T_{сут} - n_p (t_{пр} + t_{об})] G_{хх} \quad (168)$$

где  $n_p$  — число рейсов в сутки;

Таблица 31. Расходы топлива тепловозом серии . . . .  
при перевозке состава массой . . . .

Номер участка	Позиция контроллера	Время хода $t_{дв}(ч)$	Расход топлива ( $G_{пр}, G_{об}, G_{хх}$ (кг)
....	....	.....	.....
			Итого

$G_{пр}, G_{об}, G_{хх}$  — расход топлива в прямом и обратном рейсах, а также на холостой ход, кг;

$t_{пр}, t_{об}$  — время движения «туда» и «обратно», ч;

$T_{сут}$  — количество часов работы в сутки.

Нормы расхода дизельного топлива тепловозами при маневровых операциях устанавливают опытным путем по станциям и паркам для укрупненных видов работы. К примеру, на основе анализа экспериментальных данных транспортное управление Минчермета ввело средние по отрасли такие нормы (табл. 32).

Таблица 32. Нормы расхода дизельного топлива (кг) на 1 ч маневровой работы

Тепловозы	Песенный период	Освежающий период
ТЭЗ (одна секция)*	35—42	37—41
ТЭМ1	17—24	19—26
ТГМЗ	16—18	17—20
ТГМ1	8—13	13—15

\* Для тепловозов ТЭЗ работающих на вывозке в горнорудных карьерах, нормы расхода топлива установлены в 1,5 раза выше, чем при маневровых операциях.

## Контрольные вопросы

1. Как определяется расход электроэнергии электровозом на участке?
2. Сколько энергии потребляет электровоз за один свой оборот в карьере?
3. Что такое удельный расход энергии и как он определяется?
4. Как устанавливается расход топлива тепловозом на вывозной и маневровой работе?

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Материалы XXV съезда КПСС. М., Политиздат, 1976, с. 206—208.
2. Постановление ЦК КПСС и Совета Министров СССР «Об улучшении работы промышленного железнодорожного транспорта». 2 июня 1971. — В кн.: Решения партии и правительства по хозяйственным вопросам, т. 8. М., Политиздат, 1972, с. 462—466.
3. Бабичков А. М., Гурский П. А., Новиков А. Н. Гидропневматический тяговый расчет. М., Транспорт, 1971, 280 с.
4. Белкин А. С., Грибов В. А., Груневичев П. А. Устройство, эксплуатация и ремонт мотовозов, автодрезин и автомотрис. М., Транспорт, 1974, 272 с.

5. Бойко Ф. И. Паровозы промышленного транспорта. Москва — Свердловск, Машгиз, 1952, 264 с.
6. Борцов П. И. и др. Подвижной состав и основы тяги поездов. М., Транспорт, 1976, 352 с.
7. Быстрицкий Х. Я., Дубровский З. М., Ребрик Б. Н. Устройство и работа электровозов переменного тока. М., Транспорт, 1973, 463 с.
8. Вагоны /Под ред. Л. Д. Кузьмича. М., Машиностроение, 1978, 376 с.
9. Вагоны СССР. Каталог-справочник. 18—8—74 /НИИинформтяжмаш. М., 1975, 198 с.
10. Васильев М. В. Современный карьерный транспорт. М., Недра, 1969, 304 с.
11. Гончаров Ю. Г., Ганкевич Т. Ц., Петров В. Е. Управление тепловозом и его обслуживание. М., Транспорт, 1966, 296 с.
12. Горнов О. Ф., Горчаков Е. В., Осипов С. И. Устройство, ремонт и эксплуатация электровозов постоянного тока. М., Высшая школа, 1969, 391 с.
13. Ерошкин Ф. К. Паровозы металлургических предприятий. Свердловск. Металлургиздат, 1956, 407 с.
14. Залит Н. Н. Справочник по тепловозам промышленного транспорта. М., Транспорт, 1974, 368 с.
15. Исаакян О. Н., Гурский П. А. Тяговые расчеты. М., Трансжелдориздат, 1959, 360 с.
16. Казаринов В. М. Автотормоза. М., Транспорт, 1974, 240 с.
17. Калмыков В. Г., Кузнецов А. Г. Вагоны промышленного транспорта. М., Транспорт, 1978, 336 с.
18. Конструкция вагонов /Под ред. Л. А. Шадура. М., Трансжелдориздат, 1962, 416 с.
19. Крылов В. И., Клыков Е. В., Ясенцев В. Ф. Автоматические тормоза. М., Транспорт, 1973, 256 с.
20. Логинов А. И., Афанаскин Н. Е. Вагоны-самосвалы. М., Машиностроение, 1975, 192 с.
21. Маневровые тепловозы /Под. ред. Л. С. Назарова. М., Транспорт, 1977, 408 с.
22. Осипов С. И., Мионов К. А., Ревич В. И. Основы локомотивной тяги. М., Транспорт, 1972, 336 с.
23. Подвижной состав и тяговое хозяйство железных дорог /Под. ред. Л. П. Третьякова. М., Транспорт, 1971, 352 с.
24. Пойда А. А., Кокошинский И. Г., Хуторянский Н. М. Механическое оборудование тепловозов. М., Транспорт, 1978, 415 с.
25. Потапов М. Г. Карьерный транспорт. М., Недра, 1972, 264 с.
26. Правила технической эксплуатации железнодорожного транспорта предприятий системы Министерства черной металлургии СССР. Киев, Техника, 1974, 165 с.
27. Правила тяговых расчетов для поездной работы. М., Транспорт, 1969, 319 с.
28. Раков В. А. Локомотивы и моторвагонный подвижной состав железных дорог Советского Союза. М., Транспорт, 1966, 248 с.
29. Рахматулин М. Д. Ремонт тепловозов. М., Транспорт, 1977, 447 с.
30. Стасюк В. Н. Электровозный транспорт на карьерах. М., Госгортехиздат, 1963, 288 с.
31. Тепловозы /Под ред. В. Д. Кузьмича. М., Транспорт, 1973, 344 с.
32. Устройство тепловозов ТГМ3А и ТГМ3Б /Под ред. А. М. Хрычкова. М., Транспорт, 1971, 216 с.
33. Хохлов Е. А., Сорокин В. И. Электрическая тяга на карьерном транспорте. М., Недра, 1970, 340 с.
34. Шелест П. А. Современные промышленные тепловозы. М., Транспорт, 1978, 224 с.
35. Электровозы и тяговые агрегаты промышленного транспорта /Под ред. В. А. Браташа. М., Транспорт, 1977, 528 с.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

### Раздел первый

#### ЛОКОМОТИВЫ И ЛОКОМОТИВНОЕ ХОЗЯЙСТВО

##### Глава 1. Общие сведения

§ 1.	Назначение, классификация и основные технико-экономические показатели локомотивов . . . . .	3
§ 2.	История развития подвижного состава промышленного транспорта . . . . .	5

##### Глава 2. Электрическая тяга и электровозы промышленного транспорта

§ 3.	Преимущества и особенности электрической тяги . . . . .	7
§ 4.	Энергоснабжение электрифицированных железных дорог . . . . .	8
§ 5.	Обеспечение электробезопасности и защита подземных сооружений . . . . .	12
§ 6.	Классификация электровозов промышленного транспорта . . . . .	13
§ 7.	Перспективы развития электротяги на промышленном транспорте . . . . .	15

##### Глава 3. Механическая часть электровоза

§ 8.	Общие сведения . . . . .	16
§ 9.	Тележки . . . . .	17
§ 10.	Устройство тягового привода . . . . .	23
§ 11.	Кузова электровозов . . . . .	24

##### Глава 4. Электрические машины и аппаратура электровозов постоянного тока

§ 12.	Тяговые электрические машины . . . . .	25
§ 13.	Регулирование режимов тяговых двигателей . . . . .	29
§ 14.	Электрическая аппаратура . . . . .	33
§ 15.	Аккумуляторные батареи . . . . .	37

##### Глава 5. Электровозы переменного тока

§ 16.	Общее устройство . . . . .	40
§ 17.	Тяговые двигатели . . . . .	41
§ 18.	Преобразовательные установки . . . . .	43
§ 19.	Регулирование режимов работы двигателей с помощью тягового трансформатора . . . . .	47

##### Глава 6. Электрические схемы и управление электровозами

§ 20.	Электрические цепи и виды электрических схем . . . . .	49
§ 21.	Схема силовых цепей электровоза постоянного тока . . . . .	50
§ 22.	Упрощенные схемы цепей электровозов переменного тока. Цели управления . . . . .	54

##### Глава 7. Типы и параметры электровозов и тяговых агрегатов

§ 23. Электровозы и тяговые агрегаты постоянного тока . . . . .	58
§ 24. Электровозы и тяговые агрегаты переменного тока . . . . .	61
§ 25. Электровозы магистрального транспорта . . . . .	63
<b>Глава 8. Общие сведения о тепловозах</b>	
§ 26. Техничко-экономические преимущества и общее устройство тепловоза . . . . .	65
§ 27. Классификация тепловозов и их типаж . . . . .	68
§ 28. Газотурбовозы . . . . .	70
<b>Глава 9. Экипажная часть тепловозов</b>	
§ 29. Тележки . . . . .	71
§ 30. Колесные пары и буксы . . . . .	72
§ 31. Рессорное подвешивание . . . . .	74
§ 32. Тяговый привод . . . . .	75
§ 33. Кузова и главные рамы тепловозов . . . . .	76
<b>Глава 10. Двигатели внутреннего сгорания тепловозов</b>	
§ 34. Принцип работы и классификация дизелей . . . . .	77
§ 35. Рабочий цикл и основные технико-экономические показатели дизелей . . . . .	79
§ 36. Основные элементы конструкции тепловозных дизелей . . . . .	81
§ 37. Типы и характеристики дизелей тепловозов промтранспорта . . . . .	91
<b>Глава 11. Передачи тепловозов</b>	
§ 38. Назначение тепловозных передач, их классификация и технико-экономические характеристики . . . . .	94
§ 39. Электрическая передача . . . . .	96
§ 40. Гидравлическая передача тепловоза . . . . .	100
<b>Глава 12. Электрические аппараты тепловоза</b>	
§ 41. Аппараты управления . . . . .	104
§ 42. Аппараты защиты . . . . .	106
§ 43. Аккумуляторные батареи . . . . .	107
<b>Глава 13. Технические характеристики и особенности конструкций тепловозов</b>	
§ 44. Тепловозы промышленного транспорта с гидравлической передачей . . . . .	108
§ 45. Тепловозы с электрической передачей . . . . .	111
<b>Глава 14. Управление тепловозом</b>	
§ 46. Запуск и остановка дизеля . . . . .	114
§ 47. Трогание тепловоза и регулирование скорости . . . . .	115
<b>Глава 15. Мотовозы и автодрезины</b>	
§ 48. Назначение и основные характеристики . . . . .	117
§ 49. Устройство мотовозов . . . . .	118
<b>Глава 16. Паровозы промышленного транспорта</b>	
§ 50. Общая схема и основные характеристики . . . . .	119
§ 51. Устройство основных частей паровоза . . . . .	120
<b>Глава 17. Организация эксплуатации локомотивов</b>	
§ 52. Локомотивный парк предприятия или транспортного объединения . . . . .	123
§ 53. Управление локомотивом в условиях поездной и маневровой работы . . . . .	125
§ 54. Особенности управления локомотивом одним лицом . . . . .	127
§ 55. Техническое обслуживание локомотивов . . . . .	128
<b>Глава 18. Организация ремонта локомотивов</b>	
§ 56. Понятие о надежности подвижного состава . . . . .	132

§ 57. Виды ремонта локомотивов и межремонтные сроки . . . . .	133
§ 58. Локомотивное депо и организация ремонта . . . . .	135

## Раздел второй

### ВАГОНЫ И АВТОТОРМОЗА

#### Глава 19. Общие сведения о вагонах

§ 59. Назначение и классификация . . . . .	137
§ 60. Основные части вагонов . . . . .	139
§ 61. Техничко-экономические параметры вагонов . . . . .	140

#### Глава 20. Ходовые части вагонов

§ 62. Колесные пары . . . . .	142
§ 63. Буксы . . . . .	145
§ 64. Рессорное подвешивание вагонов . . . . .	146
§ 65. Двухосные тележки вагонов . . . . .	148
§ 66. Трех- и четырехосные тележки вагонов . . . . .	149

#### Глава 21. Рамы и кузова вагонов

§ 67. Общие сведения . . . . .	151
§ 68. Рамы вагонов . . . . .	152
§ 69. Кузова вагонов . . . . .	153

#### Глава 22. Ударно-тяговые приборы

§ 70. Назначение и классификация . . . . .	154
§ 71. Автосцепка СА-3 . . . . .	156
§ 72. Поглощающие аппараты . . . . .	158
§ 73. Автосцепка щеколдного типа . . . . .	160

#### Глава 23. Магистральные грузовые вагоны

§ 74. Крытые вагоны . . . . .	162
§ 75. Полувагоны . . . . .	163
§ 76. Платформы и транспортёры . . . . .	164
§ 77. Цистерны . . . . .	166

#### Глава 24. Вагоны промышленного транспорта

§ 78. Основные типы и параметры . . . . .	168
§ 79. Вагоны-хопперы открытого типа . . . . .	170
§ 80. Крытые вагоны-хопперы . . . . .	174
§ 81. Полувагоны и платформы промтранспорта . . . . .	176

#### Глава 25. Вагоны-самосвалы

§ 82. Назначение и устройство . . . . .	178
§ 83. Основные параметры вагонов-самосвалов . . . . .	180
§ 84. Конструкция и работа основных узлов . . . . .	182

#### Глава 26. Подвижной состав технологического назначения

§ 85. Общие сведения . . . . .	186
§ 86. Вагоны для перевозки жидкого шлака и чугуна . . . . .	187
§ 87. Тележки технологического промтранспорта . . . . .	190
§ 88. Коксогущильные вагоны . . . . .	192
§ 89. Самоходный дозирующий подвижной состав . . . . .	193

#### Глава 27. Вагонное хозяйство

§ 90. Вагонный парк предприятия . . . . .	195
§ 91. Система ремонта вагонов и организация вагонного хозяйства . . . . .	197
§ 92. Содержание вагонов в эксплуатации . . . . .	199
§ 93. Организация ремонта вагонов в депо . . . . .	202

#### Глава 28. Автотормоза

§ 94. Назначение тормозов подвижного состава . . . . .	203
§ 95. Общее устройство и работа пневматического автотормоза . . . . .	204
§ 96. Компрессоры. Управление тормозами . . . . .	208
§ 97. Устройство и работа воздухораспределителя . . . . .	209
§ 98. Рычажные тормозные передачи и авторегуляторы . . . . .	212
§ 99. Порядок осмотра автотормозов в поездах и опробования тормозов . . . . .	213

## Раздел третий

### ТЯГА ПОЕЗДОВ

#### Глава 29. Задачи тяговых расчетов. Сила тяги, тяговые характеристики локомотивов

§ 100. Задачи и способы выполнения тяговых расчетов . . . . .	215
§ 101. Сила тяги на ободу колеса . . . . .	216
§ 102. Закон сцепления . . . . .	218
§ 103. Коэффициент сцепления колес с рельсами, способы его повышения . . . . .	218
§ 104. Сила тяги локомотива . . . . .	219
§ 105. Тяговые характеристики электровозов, тяговых агрегатов, тепловозов . . . . .	220

#### Глава 30. Сопротивление движению поезда

§ 106. Классификация сил сопротивления . . . . .	228
§ 107. Основное сопротивление движению . . . . .	229
§ 108. Дополнительное сопротивление движению и причины, его вызывающие. . . . .	231

#### Глава 31. Тормозная сила поезда

§ 109. Коэффициент трения тормозной колодки о колесо . . . . .	235
§ БЮ. Сила нажатия тормозных колодок и ее ограничения . . . . .	237
§ 111. Полная и удельная тормозные силы . . . . .	239
§ 112. Торможение поезда локомотивом . . . . .	239
§ ИЗ. Расчет тормозной силы и тормозных путей . . . . .	240

#### Глава 32. Определение скорости и времени движения поезда

§ 114. Спрямление профиля пути . . . . .	244
§ 115. Удельные ускоряющие и замедляющие усилия поезда . . . . .	247
§ 116. Уравнение движения поезда . . . . .	250
§ 117. Расчет скорости и времени хода поезда методом равномерных скоростей и графическим способом. . . . .	253

#### Глава 33. Расчет массы поезда

§ 118. Методы расчета массы поезда. Выбор расчетного подъема . . . . .	260
§ 119. Расчет массы поезда из условий преодоления затяжного подъема . . . . .	260
§ 120. Расчет массы поезда с учетом использования его кинетической энергии. . . . .	263
§ 121. Подбор локомотива для состава заданной массы . . . . .	264
§ 122. Проверка на трогание состава с места . . . . .	265
§ 123. Диаграмма равновесных скоростей . . . . .	266
§ 124. Проверка массы состава по длине приемно-отправочных путей и по тормозной обеспеченности . . . . .	268

#### Глава 34. Расход энергоресурсов на тягу поездов

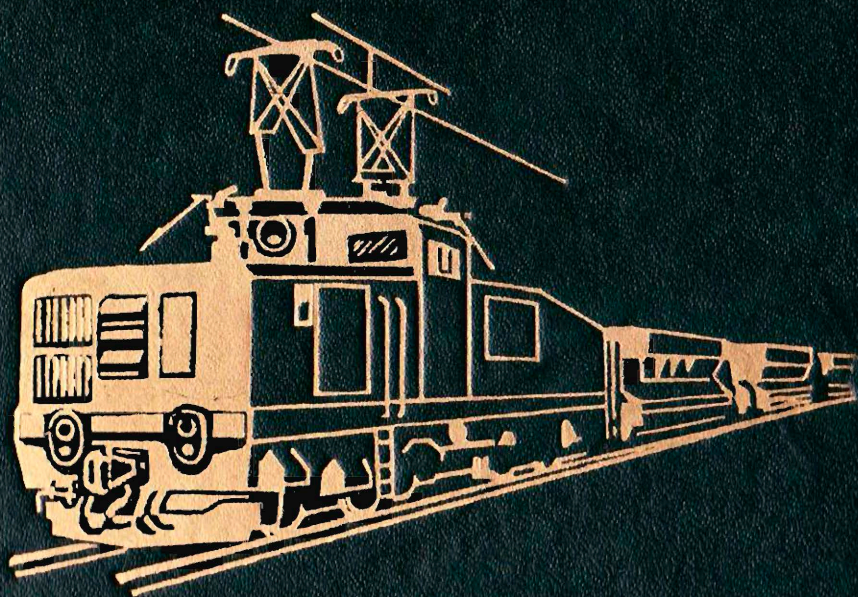
§ 125. Расчет расхода энергии электровозом . . . . .	269
§ 126. Расчет расхода топлива тепловозами . . . . .	271
§ 127. Определение расхода топлива при вывозной и маневровой работе. . . . .	273

С п и с о к л и т е р а т у р ы . . . . .	275
---	-----

В.А. НАБЛУНОВ, О.М. САВЧУН, Н.Ф. КИРИЧНО

# ПОДВИЖНОЙ СОСТАВ

ПРОМЫШЛЕННОГО  
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО  
ТРАНСПОРТА



В.А. КАБЛУКОВ, О.М. САВЧУК, Н.Ф. КИРЯЧКО



4000180