

**Ташкентский Институт Инженеров  
Железнодорожного Транспорта**

**Конспект лекций по дисциплине**

**Подвижной состав и тяга поездов.**

**Составитель:**

**К.т.н., доцент Абляимов О.С.**

**Тошкент 2016**

**Лекция № 1: Дисциплина "Подвижной состав и тяга поездов".  
Локомотивы и их краткая характеристика. Компоновка оборудования,  
узлов и агрегатов на локомотивах**

**План лекции**

1. Общие сведения о локомотивной тяге и локомотивах.
2. Принцип действия и конструктивные особенности тепловозов и электровозов.
3. Общее устройство современных локомотивов.
4. Дизель-поезда и их конструктивные особенности

Дисциплина "Подвижной состав и тяга поездов" является одной из базовых дисциплин, которая изучается на третьем курсе ТТЭ и ТЛ факультета ТашИИТа и состоит из следующих основных разделов:

- электроснабжение и локомотивы;
- вагоны, теория тяги поездов и тяговые расчеты;
- локомотивное и вагонное хозяйства.

**1.1. Тепловозы**

*Тепловоз 2ТЭ10М.* После усовершенствования тепловоза 2ТЭ10Л путем установки бесчелюстных тележек и некоторых новых элементов главной рамы и кабины локомотив получил обозначение вначале 2ТЭ10В, а затем 2ТЭ10М (рис. 5). В средней части тепловоза на общей раме смонтированы дизель 7 и генератор 6 постоянного тока. Нижний коленчатый вал дизеля соединен с генератором полужесткой муфтой.

Пуск дизеля электрический от аккумуляторной батареи 32, расположенной в четырех ящиках под полом по обеим сторонам дизеля. Ток от аккумуляторной батареи поступает в пусковую обмотку, расположенную на главных полюсах тягового генератора, который начинает работать в режиме электродвигателя. При достижении определенной частоты вращения коленчатого вала в цилиндрах происходит вспышка топлива, и дизель начинает работать. В это время поступление тока в пусковую обмотку генератора автоматически прекращается и он переходит на режим тягового генератора. Электрическая энергия, вырабатываемая тяговым генератором, по кабелям поступает к тяговым электродвигателям 14. Вращение якоря передается через тяговую зубчатую передачу колесной паре тепловоза.

Воздух из атмосферы через два (по одному с каждой стороны дизеля) воздухоочистителя (фильтры непрерывного действия) поступает в два автономных, параллельно работающих, турбокомпрессора 8 типа ТК234Н-04С (первая ступень сжатия), где давление воздуха повышается до 0,17 МПа. Из турбокомпрессоров сжатый воздух идет в нагнетатель 4 центробежного типа (вторая ступень сжатия), где он дополнительно сжимается до давления 0,22 МПа и при этом температура его повышается примерно до 130 °С. Для снижения температуры воздух из нагнетателя идет в два параллельно работающих водяных воздухоохладителя 5, расположенных с обеих сторон дизеля. Воздух охлаждается до 65 °С, затем направляется в воздушный коллектор, а дальше в цилиндры дизеля.

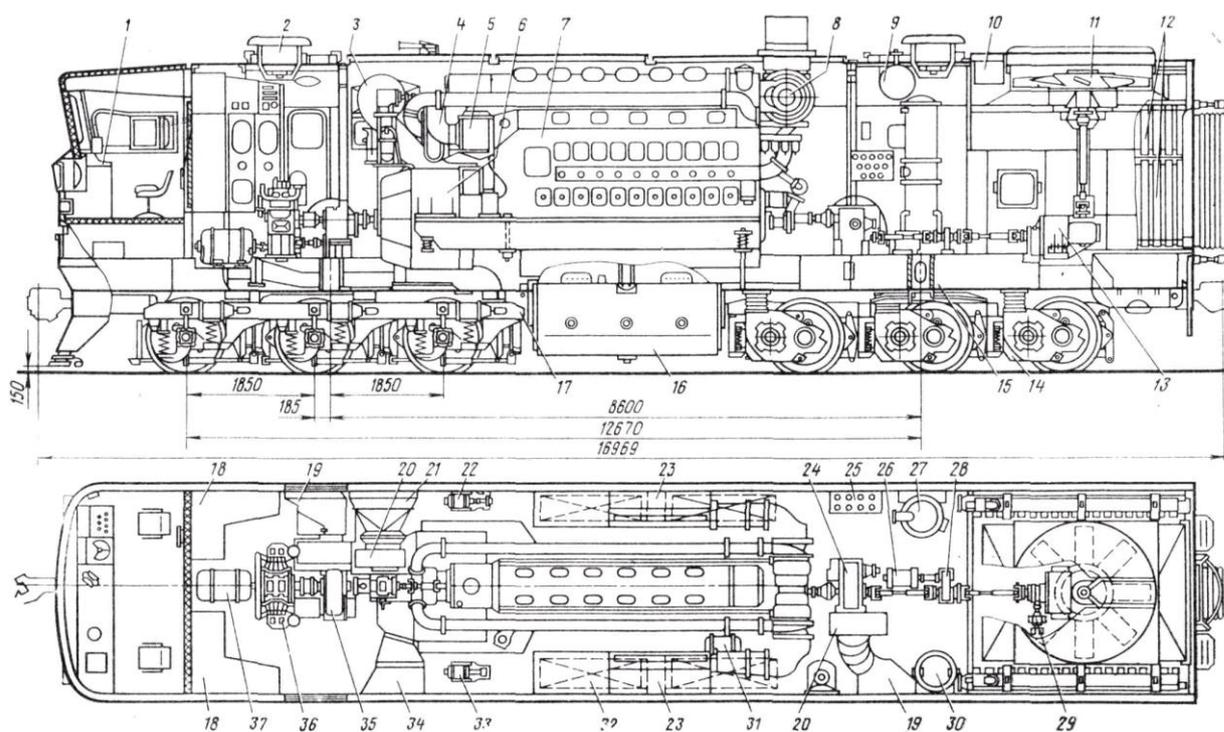


Рис. 1.1. Тепловоз 2ТЭ10М

1 - пульт управления в кабине машиниста; 2 - вентилятор кузова; 3 - вентилятор охлаждения тягового генератора; 4 - нагнетатель второй ступени; 5 - воздухоохладитель; 6 - тяговый генератор; 7 - дизель; 8 - турбокомпрессор; 9 - резервуар противопожарной установки; 10 - бак водяной; 11 - колесо вентиляторное; 12 - секции охлаждающие; 13 - гидропривод вентилятора; 14 - тяговый электродвигатель; 15 - рама тепловоза; 16 - бак топливный; 17 - тележка; 18 - аппаратные камеры; 19, 21 - каналы забора воздуха для охлаждения тяговых электродвигателей и генератора; 20 - вентиляторы охлаждения электродвигателей передней и задней тележек; 22 - маслопрокачивающий агрегат; 23 - воздухоочистители; 24 - редуктор распределительный задний; 25 - фильтр грубой очистки

масла; 26 - синхронный подвозбудитель; 27 - теплообменник; 28 - редуктор привода синхронного подвозбудителя; 29 - гидропривод вентилятора; 30 - фильтр тонкой очистки масла; 31 - топливонагреватель; 32 - батарея аккумуляторная; 33-топливоподкачивающий насос; 34 - канал выпускной охлаждения тягового генератора; 35 - редуктор распределительный передний; 36 - компрессор; 37 - двухмашинный агрегат.

Турбокомпрессоры приводятся в действие энергией отработавших газов, а нагнетатель второй ступени приводится в действие от верхнего вала через механический редуктор.

Для питания тормозной сети и электропневматических аппаратов сжатым воздухом на тепловозе установлен двухступенчатый воздушный компрессор 36 типа КТ7, приводимый в действие от вала тягового генератора через передний распределительный редуктор 35 и пластинчатую муфту. От этого редуктора через карданные валы и промежуточную опору приводится в действие двухмашинный агрегат 37, а через гидромуфту, смонтированную в корпусе переднего редуктора 35, - вентилятор 20 охлаждения тяговых электродвигателей передней тележки.

Задний распределительный одноступенчатый редуктор 24 приводится в действие от вала дизеля через пластинчатую муфту. От редуктора 24 вращение передается вентилятору 20 охлаждения тяговых электродвигателей задней тележки, масляному насосу центробежного фильтра, а через карданные валы гидроприводу 13 вентиля-торного колеса 11. Редуктор 28 через сдвоенную упругую муфту передает вращение валу синхронного подвозбудителя 26.

Для циркуляции воды в системах охлаждения на переднем торце дизеля смонтированы два водяных насоса, приводимых в действие от вала дизеля. Водяной бак 10 разделен перегородкой на две части - одна вместимостью 0,106 м<sup>3</sup>, другая - 0,230 м<sup>3</sup>. Бак служит запасным резервуаром, из которого пополняется водяная система по мере утечки воды во время работы дизеля.

Смазывание трущихся деталей дизеля принудительное от шестеренного масляного насоса. При этом масло для смазывания трущихся деталей дизеля и охлаждения поршней циркулирует между дизелем и водомасляным теплообменником 27. Для прокачки масла через дизель перед его пуском на раме тепловоза около дизеля установлен маслопрокачивающий агрегат 22. Из картеров распределительных редукторов масло откачивается насосами в поддизельную раму. Масло, поступающее в дизель, очищается фильтрами трех типов: грубой очистки 25, тонкой очистки 30 и центробежным. Для хранения масла на тепловозе нет специальных баков, оно находится в масляной системе и в картере дизеля. Во время остановки дизеля часть масла

стекает в нижнюю часть картера, а во время работы уровень масла в картере должен быть не ниже минимальной отметки на масломерном щупе для обеспечения работы масляного насоса.

Топливо к плунжерным топливным насосам подается из топливного бака 16 топливоподкачивающим насосом 33 шестеренного типа. Перед поступлением топлива в плунжерный топливный насос оно очищается фильтрами грубой и тонкой очистки. В зимнее время топливо подогревается в топливо подогревателе 31.

Частота вращения коленчатого вала дизеля и установленная мощность поддерживаются объединенным регулятором, который расположен с левой передней стороны дизеля и приводится в действие от нижнего коленчатого вала через привод регулятора.

В задней части кузова тепловоза расположено охлаждающее устройство, состоящее из водяных секций 12 и вентилятора 11. Температуру воды и масла в системах охлаждения в зависимости от режима работы дизеля и температуры окружающего воздуха регулируют за счет автоматического бесступенчатого изменения частоты вращения вентиляторного колеса, обеспечиваемого гидромуфтой переменного наполнения гидропривода 13, а также открытием и закрытием жалюзи секций радиаторов. В зимнее время для облегчения регулировки на жалюзи навешивают утеплительные чехлы с механическим приводом.

В головной (передней) части кузова расположена кабина с пультом управления 1. В кабине установлены приборы для контроля за работой агрегатов, радиостанция ЖР-3М, автоматическая локомотивная сигнализация (сокращенно АЛСНВ-1) с автостопом непрерывного действия, локомотивный светофор, скоростемер СЛ-2М. На пульте управления каждой секции тепловоза смонтированы также некоторые приборы для контроля за работой агрегатов, расположенных на второй секции. За задней стенкой кабины справа и слева расположены аппаратные (высоковольтные) камеры 18, в которых размещены электрические аппараты.

Секции тепловоза соединены между собой автоматической серийной сцепкой СА-3. Для перехода из одной секции в другую служит переходная площадка-суфле вагонного типа. При необходимости каждая секция может работать как самостоятельный локомотив.

Каждая секция тепловоза оборудована автоматической пожарной сигнализацией, противопожарной воздушно-пенной установкой, состоящей из

резервуара 9 вместимостью 0,290 м<sup>3</sup> с огнегасящей жидкостью ПО-1 ГОСТ 6948-81. трубопровода с вентилями и кранами. Вентиляция дизельного помещения производится двумя вентиляторами 2, установленными на крыше тепловоза.

На секции тепловоза имеется четыре бункера песочниц, по два на каждую тележку. Бункера расположены в переднем и заднем торцах кузова с левой и с правой его стороны. Кузов, рама тепловоза и все оборудование, расположенное на них, опирается на две трехосные бесчелюстные тележки с эластичной тяговой передачей и нагрузкой от колесной пары на рельсы 230 кН. На тележках все тяговые электродвигатели расположены подвесками (носиками) к середине тепловоза, что обеспечило повышение силы тяги примерно на 10%. Нагрузка от оборудования, установленного на раме тепловоза, на каждую тележку передается через четыре резино-роликовые опоры, которые одновременно являются возвращающими устройствами, обеспечивающими спокойное и плавное движение тепловоза. В середине шкворневой балки каждой тележки расположено шкворневое устройство, обеспечивающее возможность боковых перемещений тележки относительно кузова. Шкворень воспринимает только горизонтальные усилия от силы тяги и торможения, а также боковые силы от колесных пар и служит центром поворота тележки относительно кузова.

Управление автоматическими тормозами поезда производится краном машиниста. Кран вспомогательного тормоза применяется для управления прямодействующим тормозом тепловоза. На тепловозе предусмотрено и ручное торможение. При ручном торможении колодки воздействуют на бандажи колес двух задних осей передней и задней тележек. Для ввода тепловоза в депо при неработающем дизеле предусмотрено устройство для передвижения тепловоза при помощи тяговых электродвигателей на пониженном напряжении. Для этого у второго и третьего электродвигателей выведены провода к штепсельным разъемам, смонтированным в боковую стенку кузова тепловоза у правой аппаратной камеры. При вводе тепловоза в депо реверсор устанавливается в требуемое положение - «вперед» или «назад», дизели глушат, провода от постороннего источника присоединяют к штепсельным разъемам. При передвижении тепловоза напряжение не должно превышать 50 В, а сила тока 600 А.

**Тепловоз 2ТЭ116.** В конструкции этого тепловоза нашли отражение прогрессивные направления современного тепловозостроения. На нем установлены экономичные четырехтактные дизели, применена электрическая

передача переменного-постоянного тока с тиристорным регулированием возбуждения генератора, широко внедрен электрический привод вспомогательных агрегатов, применена бесчелюстная тележка с минимальным числом изнашиваемых элементов и упругим приводом колесных пар. Внедрен на тепловозе и ряд других принципиально новых конструктивных решений. Заводы постоянно ведут работу по совершенствованию тепловозов.

Тепловоз 2ТЭ116 (рис. 6) по конструкции экипажной части, рамы тепловоза, кабины, элементами кузова унифицирован с тепловозом 2ТЭ10В. В средней части рамы тепловоза на общей поддизельной раме смонтирована дизель-генераторная установка с 16-цилиндровым четырехтактным V-образным дизелем 1А-5Д49 и синхронным генератором ГС-501А. Дизель 29 мощностью 2200 кВт имеет газотурбинный наддув и охлаждение наддувочного воздуха. Синхронный генератор 15 представляет собой 12-полюсную электрическую машину с зависимым возбуждением и с обмоткой статора в виде двух трехфазных звезд, сдвинутых на  $30^\circ$  эл. относительно друг друга. Возбуждение генератора производится однофазным возбудителем 21 переменного тока ВС-650В с частотой 220 Гц, имеющим привод от заднего распределительного редуктора. Ток возбуждения регулируется тиристорным блоком выпрямителей 30, выполненным в виде управляемого выпрямительного моста, в два плеча которого включены тиристоры. При изменении угла открытия тиристоров изменяется ток возбуждения тягового генератора. В схеме предусмотрен аварийный режим возбуждения.

Для пуска дизеля применен стартер-генератор типа СТГ-7, который в момент пуска, получая питание от аккумуляторной батареи, работает в режиме электродвигателя постоянного тока с последовательным возбуждением и приводит во вращение вал дизеля через задний редуктор. После пуска дизеля стартер-генератор работает в генераторном режиме и питает цепи управления, освещения, электродвигатель 27 ЭКТ-5 тормозного компрессора 26 типа КТ7 и через диод заряда заряжает аккумуляторную батарею 12. Кислотная аккумуляторная батарея 48ТН-450 емкостью при 10-часовом режиме разряда 450 А·ч, установлена в нишах ферм главной рамы тепловоза по обеим сторонам топливного бака 13.

Воздухоснабжение дизеля обеспечивается газотурбинным компрессором, установленным на газовом тракте дизеля. Воздух поступает через двухступенчатые воздухоочистители 25 непрерывного действия с

периодически проворачивающимися в масляной ванне кассетами из металлических сеток (1-я ступень) и неподвижными кассетами из промасленных металлических сеток (2-я ступень), обеспечивающими степень очистки воздуха 98%. При неблагоприятных метеорологических условиях воздух забирают из дизельного помещения.

Охлаждение воды дизеля и воды, охлаждающей воздух в воздухоохладителе и масла в теплообменнике, осуществляется охлаждающим устройством, расположенным в задней части секции тепловоза и состоящим из 38 секций радиаторов длиной 1356 мм и четырех мотор-вентиляторов. Масло охлаждается в теплообменнике 22. Температура воды и масла может поддерживаться как автоматически, так и вручную включением в определенной комбинации мотор-вентиляторов и открытием и закрытием боковых и верхних жалюзи.

Переменный ток синхронного генератора выпрямляется выпрямительной установкой 2 типа УВКТ-5, выполненной в виде двух параллельных мостов на лавинных кремниевых вентилях. Каждый мост питается от одной из статорных обмоток генератора. Тяговые двигатели ЭД118А или ЭД118Б подключены к установке шестью параллельными цепями. Необходимый диапазон использования мощности дизеля по скорости тепловоза осуществляется за счет двух ступеней ослабления возбуждения 36 и 60 %. Охлаждение генератора, выпрямительной установки и тяговых электродвигателей производится мотор-вентиляторами 1 и 25, забирающими воздух через проемы на боковых наклонных поверхностях крыши и кузова в сетчатые промасляные фильтры-кассеты, установленные в коробках крыши. Воздух по каналам 8 поступает в вентиляторы и далее подводится к электрическим машинам. Степень очистки воздуха - 80%. При неблагоприятных метеорологических условиях можно перейти на забор воздуха из дизельного помещения, открыв специальные люки в крышах.

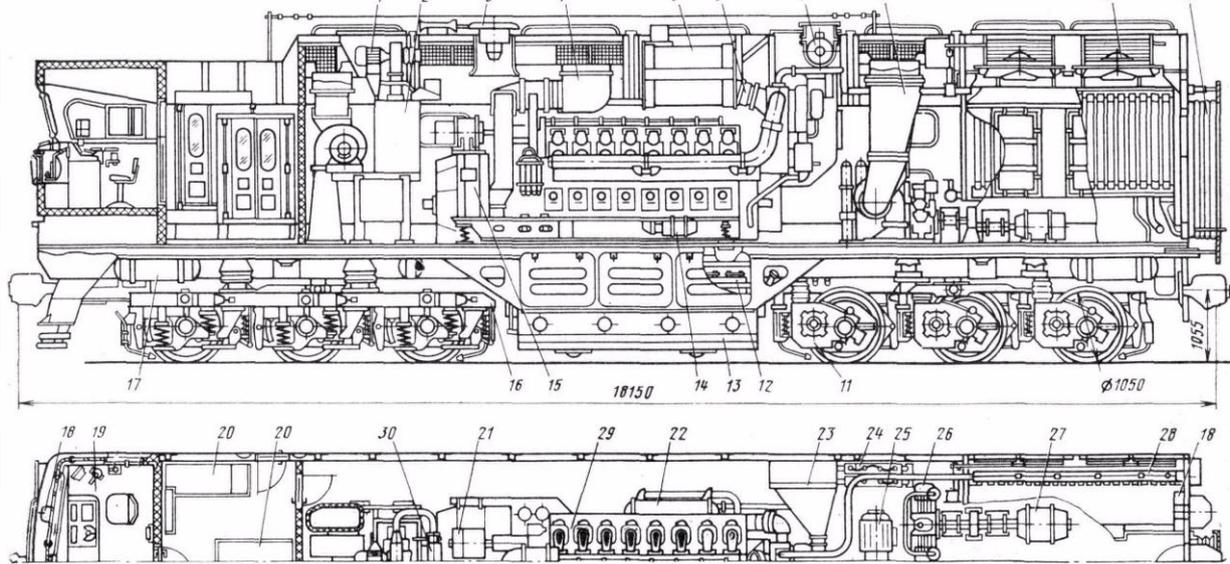


Рис. 1.2. Тепловоз 2ТЭ116:

1.9 - мотор-вентиляторы для охлаждения выпрямительной установки и холодильной камеры; 2 - выпрямительная установка; 3 - вентилятор кузова; 4 - канал забора воздуха для охлаждения тягового генератора; 5 - глушитель; 6 - компенсатор глушителя; 7 - расширительный водяной бак; 8 - канал для забора воздуха; 10 - переходный тамбур; 11 - колесно-моторный блок; 12 - аккумуляторная батарея; 13 - бак для топлива; 14 - маслопрокачивающий агрегат; 15 - генератор; 16 - тележка; 17 - главный резервуар; 18 - бункера для песка; 19 - кабина машиниста; 20 - аппаратные камеры; 21 - возбуждатель; 22 - охладитель масла для дизеля; 23 - воздухоочиститель дизеля; 24 - фильтр тонкой очистки масла; 25 - электродвигатели вентиляторов охлаждения тяговых электродвигателей; 26 - тормозной компрессор; 27 - электродвигатель привода компрессора; 28 - коллекторы охлаждающих секций; 29 дизель; 30 - блок выпрямителей управления возбуждением.

Машинное помещение от кабины отделено проставкой (тамбуром), в котором размещены три аппаратные (высоковольтные) камеры 20 с электрической аппаратурой. Наличие тамбура снижает уровень шума в кабине. Кабина машиниста обеспечивает хорошие условия для работы локомотивных бригад в соответствии с требованиями промышленной санитарии и эргономики. Песочная система тепловоза наряду с обычной системой подвода песка под колеса каждой тележки для экономии песка позволяет подавать его только под переднюю колесную пару.

Тепловоз оборудован схемой автоматической пожарной сигнализации, а также схемой аварийной остановки тепловоза, т. е. после нажатия кнопки «Аварийный стоп» локомотивная бригада может покинуть кабину - автоматически произойдет остановка дизеля, экстренное торможение, подача песка под колесные пары и подача звукового сигнала тифоном. В электрической схеме тепловоза широко использована полупроводниковая техника в блочном и индивидуальном исполнении, за счет чего уменьшилось количество реле и повысилась надежность работы схемы.

Результаты многолетних наблюдений в эксплуатации тепловозов 2ТЭ116 и экспериментальные исследования отдельных конструктивных и технологических решений нашли свое отражение в выпускаемом с 1982г. модернизированном варианте тепловоза 2ТЭ116А. На этом тепловозе, наряду с комплексным внедрением усовершенствований оборудования, воплощены принципиально новые конструктивные решения. Взамен генератора ГС501, возбuditеля и выпрямительной установки применен единый тяговый агрегат А-714. Сокращено число асинхронных двигателей для привода вспомогательных машин. Улучшены условия работы этих двигателей за счет стабилизации напряжения их питания. На тепловозе применены: несущий кузов, унифицированный с кузовом тепловоза ТЭ121, с улучшенной компоновкой оборудования; централизованное воздухообеспечение для охлаждения электрических машин; более совершенные комплексные устройства автоматики. Дизель 1А-5Д49 установлен более надежный (второе исполнение). При этом чугунный вал заменен на стальной с 10 противовесами, увеличена толщина коренных вкладышей с 4,91 до 7,34 мм, а также их ширина с 80 до 90 мм. Подвески вместо зубчатого стыка имеют плоский стык с развитой поверхностью соединения с остовом дизеля. Крепятся они к остову дополнительно четырьмя горизонтальными болтами.

## **1.2. Конструктивные особенности электровозов**

На железных дорогах стран СНГ, в том числе на железнодорожном участке ГАЖК «Ўзбекистон темир йўллари» эксплуатируются электровозы следующих основных серий: восьмиосные - переменного тока напряжением 25 кВ ВЛ80<sup>К</sup> и ВЛ80<sup>С</sup> и постоянного тока напряжением 3 кВ, ВЛ10 и ВЛ8; шестиосные — переменного тока ВЛ60<sup>К</sup>, «Ўзбекистан» (грузопассажирский и пассажирский) и постоянного тока ВЛ23, ВЛ22<sup>М</sup> и ЧС2 пассажирский.

На каждом электровозе имеется Журнал технического состояния локомотива (форма ТУ-152) для учета выявленных в пути следования неисправностей оборудования, выполненных работ по ремонту и техническому обслуживанию, а также записи о приемке и сдаче электровоза локомотивными бригадами. В Журнале приводится опись инвентаря, инструмента, запасных частей с указанием порядка их хранения.

В состав инвентаря входят сигнальные принадлежности (флаги красного и желтого цвета, петарды, светофильтры для буферных фонарей, ручные сигнальные фонари), тормозные башмаки, противопожарные средства (огнетушители порошковые и углекислотные, пожарные ведра, лопаты, багры), изолирующие защитные средства (диэлектрические перчатки и

коврики, изолирующие штанги), посуда для смазочных материалов (бидоны, масленки, ведра с крышками, кружки), медицинские аптечки. В состав инструмента, как правило, входят гаечные, торцовые, газовые и специальные ключи, плоскогубцы, отвертки, напильники, молотки, зубила, бородки, кувалды, ломы, скребки и т.д.

Рассмотрим конструктивные особенности электровозов переменного в постоянного тока основных серий с расположением основного оборудования на них.

На крыше каждой секции электровоза ВЛ80<sup>к</sup> (рис. 1.3) установлены токоприемник 1, дроссель подавления радиопомех 7, разъединитель 9, главный выключатель 10, разрядник, антенна поездной радиосвязи 15 (имеется только на 1-й секции), главный резервуар 14. Там же размещены токоведущие шины, укрепленные на опорных изоляторах. В кузове расположена высоковольтная камера, в которой установлены две панели аппаратов 2, 4, первый блок силовых аппаратов 3, расщепитель фаз 6, мотор-вентилятор 5 для обдува двух тяговых двигателей (в форкамере мотор-вентилятора находятся индуктивные шунты), выпрямительная установка 8 (под выпрямительной установкой внутри каркаса помещен сглаживающий реактор), тяговый трансформатор 12, главный контроллер ЭКГ 11, переходный реактор 23, разрядники, предназначенные для защиты трансформатора от перенапряжений, дифференциальное реле, конденсаторы защиты главного контроллера, трансформатор тока.

За выпрямительной установкой 8 расположены мотор-компрессор 22, второй блок силовых аппаратов 13, панель аппаратов 21, счетчик электроэнергии. Конденсаторы цепи вспомогательных машин 24 и другое оборудование установлены в нише пола, над форкамерой и в других местах высоковольтной камеры.

В заднем конце секции вне высоковольтной камеры находятся аккумуляторная батарея 16, мотор-вентилятор 5 для обдува другой пары тяговых двигателей, распределительный щит, компрессор для подъема токоприемника 18, радиостанция поездной радиосвязи (имеется только в 1-й секции), оборудование санитарного узла (только во 2-й секции) электровоза. Под кузовом расположены приемные катушки автоматической локомотивной сигнализации 25, розетки для подсоединения переносных ламп, светильники для освещения ходовых частей.

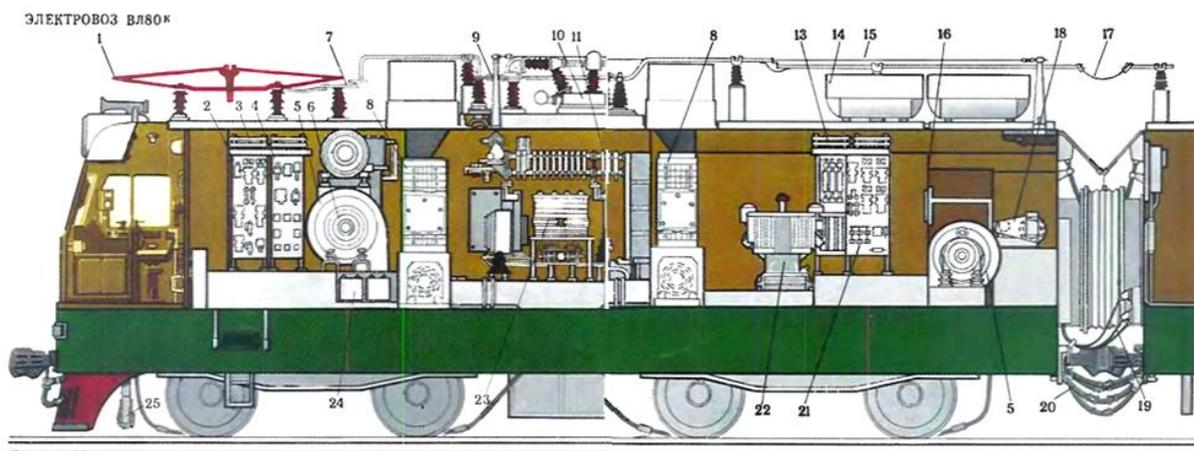


Рис. 1.3. Электровоз ВЛ80<sup>К</sup>

На торцевой части кузова с внутреннего конца секции находятся межсекционные соединения электрических цепей 17 в 19 и воздушных магистралей 20. Там же установлены розетки, предназначенные для питания тяговых двигателей от сети депо, для зарядки аккумуляторных батарей и питания вспомогательных машин электровоза от стационарной сети депо, а также штепсельное соединение проводов цепи амперметра, коробка с выводами для резервирования расцепителя фаз.

В кабине электровоза ВЛ80<sup>К</sup> находятся пульт управления, скоростемер, кран вспомогательного тормоза, кран машиниста, контроллер машиниста, кнопочные выключатели, рукоятка бдительности локомотивной сигнализаций, регулятор давления, печи отопления кабины, калорифер обдува лобовых окон, клапан песочницы, колонка с приводом ручного тормоза, кнопочный выключатель, пульт управления помощника машиниста, светофор автоматической локомотивной сигнализации, усилитель дешифратор, скоростемер и фильтр автоматической локомотивной сигнализации, электропневматический клапан автостопа, пульт управления радиостанцией поездной радиосвязи, светильники подсветки измерительных приборов и другое оборудование.

На панели пульта машиниста установлены сигнальные лампы и измерительные приборы: вольтметр сети, вольтметр тягового двигателя, амперметры тягового двигателя 2-й секции, амперметр тягового двигателя 1-й секции, указатель позиции главного контроллера, манометры тормозного цилиндра, главного резервуара, тормозной магистрали и уравнительного резервуара; на панели электровоза ВЛ80<sup>Т</sup> имеется также амперметр тока возбуждения тяговых двигателей и указатель скорости торможения.

В кабине управления электровоз ВЛ60<sup>К</sup> (рис. 1.4) установлен пульт машиниста с контроллером КМЭ-60; на пульте расположены кнопочные

выключатели, рукоятка бдительности, электроизмерительные приборы, манометры, указатель позиций группового переключателя, сигнальные лампы для удобства монтажа вольтметры напряжения контактной сети и тяговых двигателей, амперметры контроля тока тяговых двигателей установлены на открывающейся панели пульта.

На пульте помощника машиниста расположены вольтметр аккумуляторной батареи и генератора управления, манометр, контролирующий давление сжатого воздуха в пневматической сети электрических аппаратов, а также кнопочный выключатель. Со стороны помощника машиниста установлена колонка, на которой расположен штурвал ручного тормоза.

В кабине электровоза размещены, кроме того, следующие устройства и аппараты: электропневматический клапан автоматической локомотивной сигнализации, локомотивный светофор, скоростемер, краны машиниста и вспомогательного тормоза, аппаратура поездной радиосвязи, регулятор давления АК-11Б (в первой кабине), усилитель дешифратор и фильтр локомотивной сигнализаций (во второй кабине), электрические печи, предназначенные для отопления, устройства обдува лобовых окон, освещения и подсветки.

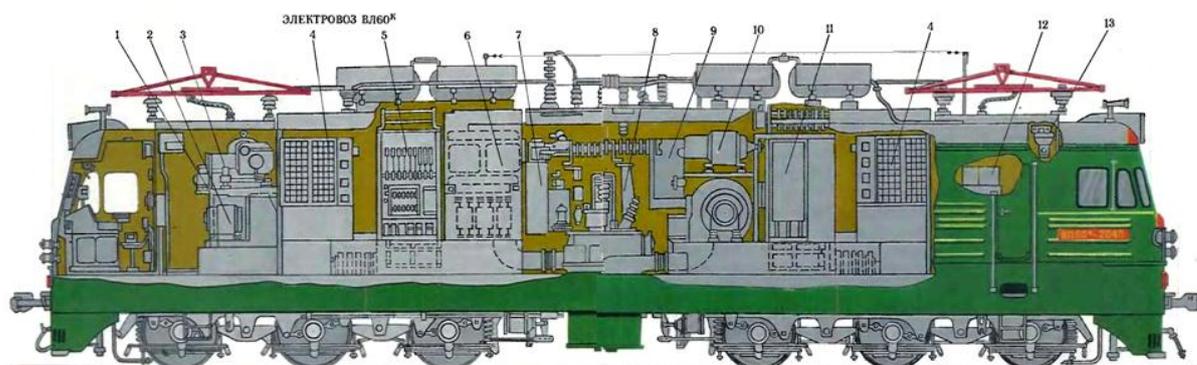


Рис. 1.4. Электровоз ВЛ60<sup>К</sup>

Расположение оборудования на крыше и под кузовом аналогично расположению его на электровозе ВЛ80<sup>К</sup>.

В высоковольтной камере установлены блоки выпрямительной установки 4, блок силовых аппаратов 5, сглаживающий реактор и индуктивных шунты 6, панель управления 7, блок тягового трансформатора 8, над которым расположены переходный реактор, главный контроллер, разрядники защиты от перенапряжений, блок дифференциальных реле

конденсаторы. В высоковольтной камере размещены также распределительный щит 9, расщепитель фаз 10, панель управления 11, радиостанция с блоком питания 12, воздухораспределитель 13 и другое оборудование.

В машинных помещениях находятся блоки мотор-компрессоров 3, мотор-вентиляторы 2, компрессор для подъема токоприемников 1 и другое оборудование.

Под кузовом электровоза имеются розетки питания от деповской сети цепей тяговых двигателей и вспомогательных машин, для подзарядки аккумуляторной батареи, подключения переносных ламп, приемные катушки локомотивной сигнализации.

В кабине управления электровоз ВЛ10 (рис.1.5.) расположены контроллер машиниста, пульт управления с панелью измерительных приборов, кнопочные выключатели, приборы автоматической локомотивной сигнализации (АЛС) и автостопа, скоростемер, краны машиниста и вспомогательного тормоза и другое оборудование.

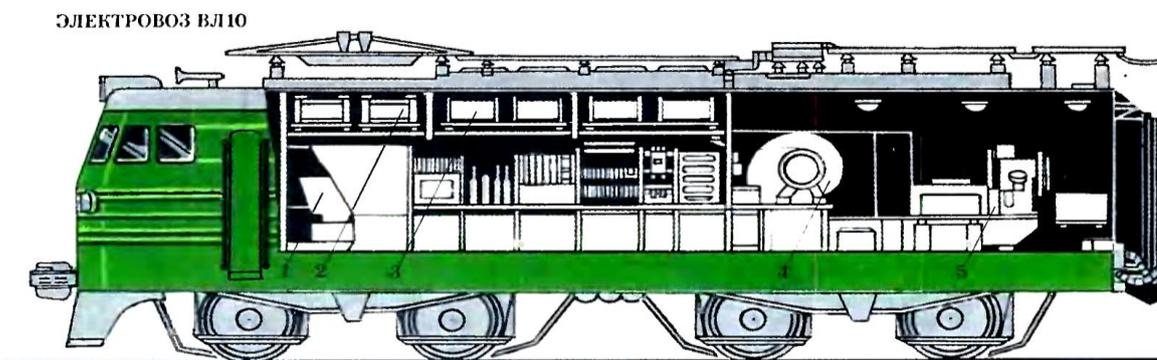


Рис. 1.5. Электровоз ВЛ10

В высоковольтной камере 1-й секции находятся быстродействующий выключатель силовой цепи, индуктивные шунты, резисторы пусковые и ослабления поля, демпферные резисторы, переключатели, реверсор, контакторы электропневматические и электромагнитные. Реле сосредоточены в блоках аппаратов. В машинном помещении установлены мотор-вентилятор с генератором управления, преобразователь, мотор-компрессор, дешифратор локомотивной автоматической сигнализации.

Во 2-й секции размещены аналогичное оборудование и вспомогательные машины, а также аккумуляторная батарея, радиостанция поездной радиосвязи, мотор-компрессор для подъема токоприемников; здесь же находится быстродействующий выключатель вспомогательных цепей.

Люк для подъема на крышу и санитарный узел находятся в машинном помещении 1-й секции. Между кузовами 1-й в 2-й секций имеются межсекционные соединения электрических цепей и воздушных магистралей. Кабины управления, машинные помещения, высоковольтные камеры, проходы в кузове и ходовые части освещаются электрическими лампами, установленными в плафонах и светильниках.

На крыше электровоза размещены токоприемники, дроссель подавления радиопомех разрядник, конденсатор, разъединитель токоприемников, шины на изоляторах, соединяющие цепь токоприемников, антенна поездной радиосвязи, звуковые сигналы. На крыше 1-й секции имеется проходной изолятор, через который осуществляется ввод питания высоковольтных цепей электровоза от токоприемника.

В кабине управления электровоза ВЛ8 (рис.1.4) установлены контроллер машиниста 1, пульт управления радиостанцией 2, пульт управления машиниста 3, регулятор давления 4, кран машиниста 5, рукоятка бдительности 6, скоростемер 7, светофор автоматической локомотивной сигнализации 8, прожектор 9, светильник зеленого света 10, потолочный светильник 11, панель с кнопками 13, громкоговоритель 12, электрические печи отопления кабины 61, электропневматический клапан 62, панель помощника машиниста 63, привод ручного тормоза 64. В кузове электровоза расположены воздухораспределитель 14, переключатель направлений 52, генератор управления 53, вентилятор 56 с электродвигателем 54, дешифратор с усилителем 55, компрессор 58 с электродвигателем 57, преобразователь 60, ящик для смазки 59, аккумуляторная батарея 40, приемопередатчик радиостанции поездной радиосвязи 41, преобразователь для радиостанции.

В высоковольтной камере находятся реверсор 17, тормозной переключатель 18, отключатель тяговых двигателей 19, переходные резисторы 20, резисторы пусковые и стабилизирующие 21, групповой переключатель 22, индуктивный шунт 24, резистор ослабления возбуждения 23, предохранитель вспомогательных цепей 26, клапаны токоприемников 27, переключатель вентиляторов 30, контакторы вспомогательных цепей 31, контакторы ослабления возбуждения 32, электромагнитные контакторы 33, панель управления 34, добавочные резисторы 35, реле 36, демпферные

резисторы вспомогательных цепей 43, двигатель-компрессор токоприемника 44, линейные контакторы 45, защитный клапан 46, межкузовные соединения 47, счетчик электроэнергии 48, контактные зажимы 49, быстродействующий выключатель 50, резистор в цепи генератора возбуждения 51 тяговых двигателей.

На крыше электровоза установлены токоприемники 15, разрядник 29, проходной изолятор дроссель подавления радиопомех 25, антенна поездной радиосвязи 37, звуковые сигналы 38 и 39; на изоляторах

закреплены токоведущие шины с межкузовными соединениями 28, цепи токоприемников 16, крышечные разъединители.

### **1.3. Техническая характеристика и конструктивные особенности электровоза «Узбекистан»**

Электровоз "Узбекистан" предназначен для вождения грузовых и пассажирских поездов на железнодорожных магистралях ГАЖК "Ўзбекистон темир йўллари" с высотой над уровнем моря не более 1500 метров. Он может эксплуатироваться (работать) в «штатном» режиме при температуре окружающей среды от  $-30^{\circ}\text{C}$  до  $+50^{\circ}\text{C}$  в тени и максимальной влажности воздуха не превышающей 90%.

Основные технические данные электровоза "Узбекистан" .

Род тока переменный с частотой.....	50 Гц
Номинальное напряжение.....	25 кВ
Максимальное напряжение.....	29 кВ
Минимальное напряжение.....	19 кВ
Мощность.....	6000 кВт
Сила тяги при трогании.....	450 кН
Сила тяги длительного режима.....	410 кН
Конструктивная скорость.....	120 км/ч
Ширина колеи.....	1520 мм
Диаметр колеса.....	1250 мм

Масса электровоза.....	138 Т <sup>+3</sup> <sub>-2</sub>
Нагрузка на ось.....	23,5 т
Осевая формула.....	2 <sub>0</sub> -2 <sub>0</sub> -2 <sub>0</sub>
Торможение – пневматическое и электрическое (рекуперативное)	
Мощность электрического тормоза.....	5400 кВт
Тормозное усилие.....	285 кН
Мощность тягового электродвигателя.....	1020 кВт
Тяговый электродвигатель переменного тока, асинхронный.....	
	350 А
Номинальное напряжение.....	1987 В
Габарит электровоза на площадке при опущенном токоприемнике должен удовлетворять требованию 1-Г ГОСТ 9238-83 .....	
	±20 мм
Высота продольной оси автосцепки над головками рельса.....	
	1060 мм
Рабочая высота продольной оси токосъемника над рельсом.....	
	5750...6800 мм
Высота продольной оси камнесбрасывателя над рельсом.....	
	30 мм
Ширина кузова.....	3100 мм
Высота кузова.....	4150 мм
Расстояние между серединами тележек.....	2x7200 мм
База тележки.....	2800 мм
База электровоза.....	17200 мм

Электровоз «Узбекистан» относится к локомотивам нового поколения, отличительной особенностью которых является электрическая передача

переменно-постоянно-переменного тока с бесконтактным регулированием оборотов тяговых электродвигателей и мощности.

Кроме того, охлаждение силового оборудования и тяговых электродвигателей осуществляется вентиляторами с изменяющейся частотой вращения в зависимости от реализуемой мощности электровоза, на котором установлено два винтовых компрессора «Атлас-Копко» производительностью 2,77 м<sup>3</sup>/мин.

Электровоз оборудован системой безопасности КЛУБ-У, обеспечивающей прием сигналов в режиме АЛСН и АЛС-ЕН (автоматическая локомотивная сигнализация), имеет цифровой радиоканал и систему спутниковой навигации, которые могут совместно работать с САУЛ (система автоматического управления локомотивом).

Контроллер машиниста имеет двенадцать тяговых ступеней и десять тормозных положений.

Электровоз оборудован бортовым компьютером фирмы Siemens и совместно с кабинами машиниста имеет современный дизайн.

Каждая кабина машиниста электровоза оборудована кондиционером "зима-лето" и имеет подогрев лобовых стекол со стеклоочистителями.

Кресло машиниста имеет четыре индивидуальные регулировки по положению, а также регулировки, связанные с различным весом машинистов.

Рассмотрим конструктивные особенности некоторых узлов экипажной части электровоза "Узбекистан".

Тележка представляет собой важную составляющую часть электровоза, посредством которой не только передается "тяговая нагрузка" на раму электровоза, но и обеспечивается образование силы тяги при помощи сцепления колес с рельсами с учетом окружного усилия, возникающего в тяговом редукторе колесно-моторного блока.

Электровоз имеет две торцевых и одну промежуточную тележки. Обе торцевых тележки одинаковы по конструкции и могут быть взаимозаменяемы между собой. Конструктивным отличием тележек является рама тележки – для торцевой тележки она имеет "П" образную фигуру.

Каждая из тележек имеет по два колесно-моторных блока и состоит из рамы, тягового устройства, двух ступеней рессорного подвешивания,

основного и вспомогательного тормозных устройств. С целью уменьшения износа колесных пар на торцевой тележке установлено "смазочное устройство"- гребнесмазыватель.

Колесно-моторный блок имеет опорно-осевое подвешивание тяговых электродвигателей с односторонним зубчатым зацеплением тягового редуктора, а конструктивным отличием колесной пары является наличие канала для подвода масла в зону ступицы оси колесной пары через колесный центр с целью обеспечения "облегчения" демонтажа этого центра с оси.

### **Контрольные вопросы**

1. Что такое локомотив и основные типы локомотивов.
2. Тепловоз – это...
3. Приведите краткие сведения о развитии локомотивной тяги.
4. Первичным двигателем на тепловозе является ... и его назначение.
5. Принцип действия тепловоза.
6. Что является на тепловозах «передачей» и её назначение.
7. Принципиальная схема размещения основного оборудования и преобразования энергии на тепловозах с электрической передачей.
8. Принципиальная схема размещения основного оборудования и преобразования энергии на тепловозах с гидравлической передачей.
9. Расскажите об экипажной части тепловоза.
10. Для чего служат главная рама и кузов тепловоза.
11. Вспомогательное оборудование тепловоза и его назначение.
12. Электрическое оборудование тепловоза и его назначение.
13. Конструктивные особенности магистральных (поездных) тепловозов.
14. Конструктивные особенности маневровых тепловозов.
15. Почему тепловозы являются автономными локомотивами.
16. По каким признакам классифицируются тепловозы.
17. Перечислите основные характеристики тепловозов и дайте по ним пояснения с конкретными примерами.
18. Основные технико-экономические показатели тепловозной тяги.
19. Общие сведения об электрических передачах тепловозов.
20. Общие сведения о гидравлических передачах тепловозов.
21. Дизельные поезда и их конструктивные особенности.

### **Литература**

1. Тепловозы. Основы теории и конструкции. Под ред. В.Д.Кузьмича – М.:Транспорт, 1991, 387с.
2. Конструкция, расчет и проектирование локомотивов. Под ред. А.А.Камаева – М.: Машиностроение, 1981, 398с.

3. Конструкция и динамика тепловозов. Под ред. В.Н.Иванова – М.: Транспорт, 1974, 336с.
4. Подвижной состав и тяга поездов. Под ред. В.В.Деева и Н.А.Фуфрянского . – М.: Транспорт, 1979, 368с.
5. Подвижной состав и тяга поездов. Под ред. А.П.Третьякова. – М.: Транспорт, 1971, 352с.
6. Абляимов О.С., Ушаков Э.С. Основы управления локомотивов. Учебник для профессиональных колледжей железнодорожного транспорта. – Т.: Издательство «Давг», 2012. - 392 с.

## **Лекция № 2**

### **Общие сведения об электроснабжении железных дорог и электроподвижном составе**

#### **План лекции**

1. Общие сведения об электроснабжении железных дорог.
2. Схемы питания электроподвижного состава постоянного и переменного тока.
3. Электроподвижной состав железных дорог и его классификация.
4. Осевая формула ходовых частей электроподвижного состава и её особенности.
5. Общие сведения об электровозах и моторвагонном подвижном составе.

#### **2.1. Общие сведения об электроснабжении железных дорог**

При электрификации железных дорог осуществляется комплексное электроснабжение всего железнодорожного хозяйства, промышленности и сельского хозяйства, а также прилегающих к железной дороге районов. Поэтому на систему электроснабжения ложится также задача обеспечения электрической энергией нетяговых (районных) потребителей.

Система электроснабжения железной дороги включает в себя в общем случае: линии передач электрифицированной железной дороги, тяговые подстанции, контактную сеть, линии нетяговых потребителей.

Источниками энергии для электроподвижного состава в настоящее время являются тепловые, гидро- и атомные электростанции, вырабатывающими трехфазный ток, который наиболее выгоден и удобен в отношении производства и распределения электрической энергии и питания асинхронных электродвигателей, получивших наибольшее распространение в промышленности.

На тепловых электростанциях в качестве первичных двигателей используют турбогенераторы, работающие при сверхкритических параметрах пара ( $p \geq 235 \text{ ат}$ ) с минимальным удельным расходом топлива. На гидроэлектростанциях применяют гидравлические турбины, которые вращают роторы электрических генераторов с напряжением в 6,3; 10,5 и 15,75 кВ.

Электрическая энергия, выработанная генераторами электростанции, передается через сборные шины, высоковольтные выключатели, защитную и контактную аппаратуру на трансформаторы, которые повышают напряжение до 35; 110; 220; 330; 400; 500 кВ и более. Затем энергия высокого напряжения поступает либо в линии электропередачи, если она передается на переменном токе, либо статическими преобразователями преобразуется в энергию постоянного тока и потом поступает в линию электропередачи.

Линии электропередачи классифицируются по величине напряжения, роду тока (переменного или постоянного тока) и по выполнению (воздушные или кабельные).

Для передачи энергии на большие расстояния сооружают, как правило, воздушные линии. Кабельные линии прокладывают лишь там, где нельзя построить воздушную линию.

Линии электропередачи длиной 500...600 км и мощностью 600...700 тыс. кВт обычно выполняют переменного тока на напряжение 35; 110; 154; 220; 400 и 500 кВ. (Следует отметить, что предельным для линий на переменном токе является напряжение 1300...1500 кВ, при котором воздух перестает быть надежной изоляцией). Линии электропередачи постоянного тока напряжением 1500( $\pm 750$ ) кВ строят, если требуется осуществить передачу электроэнергии на большие расстояния. К недостаткам передач постоянного тока следует отнести их более сложные и дорогие конечные подстанции с преобразователями. Постоянный ток проще передавать по кабелям, проложенным под землей.

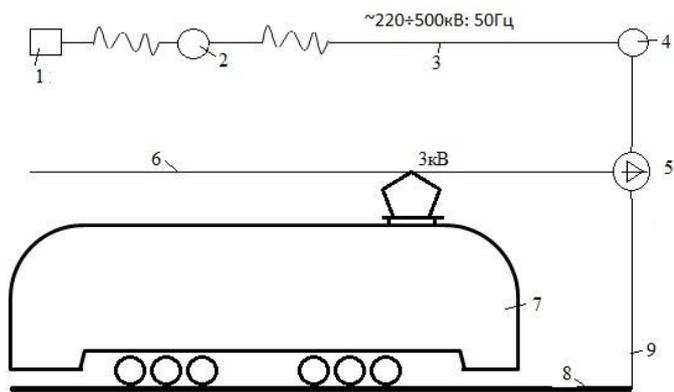
На тяговые подстанции электрифицированных участков железных дорог постоянного тока поступает трехфазный переменный ток обычно напряжением 110 или 220 кВ. На подстанциях вначале трансформаторами понижают напряжение, а затем многофазными статическими преобразователями выпрямляют ток в постоянный. Напряжение на шинах подстанции 3,3 кВ. Тяговые подстанции железных дорог переменного тока промышленной частоты только понижают напряжение до 27,5 кВ. Питание тяговых подстанций осуществляют, как правило, от двух линий электропередачи.

От тяговой подстанции электрическая энергия поступает в контактную сеть, которая подводит ее к движущемуся по рельсовым путям электроподвижному составу. Контактную сеть выполняют в виде проводов, подвешенных на специальных опорах или контактного (третьего) рельса. Провода применяют на наземных участках железных дорог, третий рельс, как правило – только на подземных (метрополитенах).

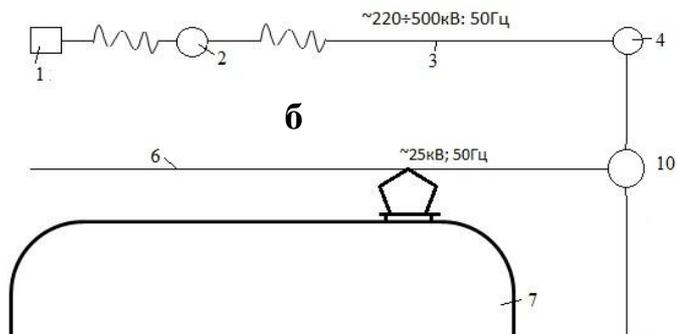
Контактную сеть присоединяют к тяговой подстанции проводами, которые называют питающими линиями. Вторым проводом на электрифицированных участках во всех случаях являются ходовые рельсы. Рельсовые цепи соединяют с тяговой подстанцией проводами, которые называются отсасывающими линиями. Питающие и отсасывающие линии выполняют воздушными или кабельными.

В отличие от других устройств системы электроснабжения контактная сеть не имеет резерва. Вот почему к ней предъявляют высокие требования как по совершенству их конструкций, так и по содержанию в условиях эксплуатации.

На основании изложенного выше приводим схемы питания электроподвижного состава постоянного (а) и переменного (б) тока, на которых обозначено: 1-электростанция; 2-повысительная подстанция; 3-линия электропередачи энергосистемы; 4-понижительная подстанция; 5-тяговая подстанция со статическими выпрямителями; 6-контактная сеть; 7-электрический локомотив; 8-рельсы; 9-отсасывающая линия; 10-тяговая подстанция.



**а**



**б**

## 2.2. Классификация электроподвижного состава

Электровозом называется локомотив, который производится в движение тяговыми электродвигателями, получающими питание от электрических станций через линии передачи, тяговые подстанции и контактный провод.

Электровозы классифицируются по роду тока, типу передач, работы и осевым формулам, а моторвагонный подвижной состав - по роду тока и виду работы.

Классификация электроподвижного состава по роду тока. В зависимости от рода тока, подводимого к электроподвижному составу, различают системы электрической тяги постоянного, трехфазного, однофазного тока пониженной частоты  $16 \frac{2}{3}$  и 25 Гц и однофазного тока промышленной частоты.

Система постоянного тока. При этой системе номинальное напряжение в контактной сети магистральных железных дорог обычно составляет 3000 В, промышленного транспорта – 1500 В и метрополитена – 825 В. На электроподвижном составе устанавливают тяговые двигатели постоянного тока с контактно-реостатным или с импульсным тиристорным управлением тяговыми электродвигателями.

Пуск и регулирование скорости движения по схеме с контактно-реостатным управлением осуществляют пусковыми реостатами и переключением контакторами тяговых электродвигателей с одного соединения на другое. Такое управление тяговыми электродвигателями получило наибольшее распространение. Однако оно имеет ряд недостатков, а именно: значительные потери энергии в пусковых реостатах; толчки тока и силы тяги при переключениях; невозможность плавного регулирования скорости; сложность осуществления рекуперативного торможения; необходимость применения относительно низкого напряжения в контактной сети; воздействие колебаний напряжения и перенапряжений в системе электроснабжения на непосредственно присоединенные к контактной сети тяговые электродвигатели.

При импульсном тиристорном управлении тяговыми электродвигателями (вместо пусковых реостатов - тиристорно-импульсный преобразователь) отпадают почти все недостатки, присущие системе с контактно-реостатным управлением... Особенно существенный экономический эффект должно дать импульсное тиристорное управление на пригородных электропоездах, метрополитене, а также промышленном транспорте и трамваях, главным образом, вследствие увлечения пропускной способности участков, сокращения пусковых и тормозных потерь и улучшения динамических свойств подвижного состава.

Система трехфазного тока. При этой системе на электроподвижном составе устанавливают трехфазные асинхронные электродвигатели переменного тока, а иногда и понижающие трансформаторы. Асинхронные электродвигатели самые простые, надежные, дешевые и допускают автоматический переход в режим рекуперативного торможения. Напряжение в контактной сети железных дорог, электрифицированных на трехфазном токе, составляет от 3 до 10 кВ. Недостаток этой системы – необходимость в двухпроводной контактной сети для подведения к локомотиву трехфазного тока (третьим проводом служит ходовой рельс), что значительно повышает стоимость сооружений контактной сети и затрудняет эксплуатацию железной дороги. Кроме этого, на электроподвижном составе с трехфазными асинхронными электродвигателями трудно регулировать скорость в широких пределах и требуется точно подбирать колесные пары по диаметру бандажей.

Система однофазного тока пониженной частоты. Такая система появилась благодаря простоте электрического локомотива. На электроподвижном составе этой системы коллекторные тяговые электродвигатели последовательного возбуждения подключают непосредственно ко вторичной обмотке тягового (силового) трансформатора.

Недостаткам электроподвижном однофазного тока пониженной частоты являются: невысокий коэффициент мощности  $\cos\varphi = p/s$  (здесь,  $p$  – активная мощность, потребляемая электровозом для вращения тяговых электродвигателей;  $s$  – полная мощность, потребляемая электровозом из сети) коллекторных тяговых электродвигателей (0,8...0,88), который при трогании становится меньше 0,3...0,4; низкий коэффициент тяги (отношение силы тяги при часовом режиме и сцепному весу электровоза) – в часовом режиме не превышает 0,17...0,19; сложность конструкции.

Система однофазного тока промышленной частоты. При этой системе электроснабжение электрических дорог осуществляется от простых трансформаторных установок, понижающих высокое напряжение

переменного тока, подаваемого с электрических станций общего пользования до 25 кВ.

Электровозы и моторвагонный подвижной состав для железных дорог однофазного тока промышленной частоты подразделяют на четыре группы:

- с двигателями постоянного или пульсирующего тока – система однофазно-постоянного тока;
- с коллекторными электродвигателями однофазного тока промышленной частоты;
- с трехфазными асинхронными электродвигателями – система однофазно-трехфазного тока;
- с вентильными тяговыми электродвигателями.

Классификация электровозов по типу передачи. В зависимости от способа передачи вращающего момента от тягового электродвигателя на движущие колесные пары различают электровозы с индивидуальным и групповым приводом.

Индивидуальный привод – это передача, при которой вращающий момент передается на каждую движущую колесную пару от отдельного тягового электродвигателя – одиночного или сдвоенного.

Групповой привод – это передача, когда вращающий момент одного или двух тяговых электродвигателей передается группе движущих колесных пар, соединенных друг с другом спарниками или зубчатой передачей.

В настоящее время большинство электровозов и моторных вагонов во всех странах имеют индивидуальный привод, который удобнее в эксплуатации и позволяет легче размещать электрическое оборудование.

В целях повышения коэффициента сцепления и уменьшения веса локомотива в ряде стран выпускают электровозы, имеющие один тяговый электродвигатель на одну двухосную или трехосную тележку, колесные пары при этом соединяют с электродвигателями зубчатыми колесными.

Классификация по роду работы. Электровозы по роду работы подразделяют на пассажирские, грузовые и маневровые.

Моторвагонный подвижной состав по роду работы различают пригородного и междугородного сообщения. Характерная особенность состава пригородного сообщения – большие ускорения при пуске и относительно низкие максимальные скорости движения. Моторвагонный подвижной состав междугородного сообщения имеет меньшие ускорения, но большую максимальную скорость.

Классификация электровозов по осевым формулам ходовых частей. Электровозы характеризуются количеством и расположением движущих и бегунковых колесных пар. Движущие колесные пары создают тяговое

усилие, а бегунковые служат только для передачи на путь части веса (массы) локомотива. На современных электровозах бегунковые колесные пары не применяют.

Движущие колесные пары устанавливаются или в жесткой раме электровоза или при большом их числе группируются по три или по две в отдельные тележки. В первом случае локомотив называют «электровозом с одной жесткой рамой» или «рамным электровозом», а во втором – «электровозом с движущими тележками» или «тележным электровозом». Тележные электровозы могут иметь один общий кузов или состоящий из двух, а реже из трех частей.

Тележки выполняются сочлененными или несочлененными (независимыми). Сочленение тележек служит для передачи горизонтальных и вертикальных усилий или только вертикальных. У электровозов с несочлененными тележками и опорами только для передачи вертикальных усилий тяговые и тормозные усилия передаются через раму кузова, а при сочленениях, рассчитанных на горизонтальные усилия - через рамы тележек. Отметим, что при передаче тяговых и тормозных усилий через раму кузова возможно выполнить более легкими рамы тележек и снизить динамические воздействия электровоза на железнодорожный путь.

В странах СНГ применяют цифровые формулы ходовых частей. Движущие и бегунковые колесные пары обозначают цифрами: одноосную бегунковую тележку – цифрой 1, двухосную – 2. Затем следует дефис (-) и цифра, обозначающая число движущих колесных пар, жестко установленных в одной общей раме или в каждой движущей тележке. Далее ставится знак плюс (+), если тяговое усилие передается через сочленение тележек, или знак минус (-), если через раму кузова. После этого следует обозначение второй бегунковой тележки у рамного электровоза или числа движущих колесных пар и бегунковой тележки у тележных электровозов. Например, тележный электровоз с двумя трехосными несочлененными движущими тележками (электровозы ВЛ60, ВЛ60<sup>К</sup>, Ф) имеет осевую формулу 0-3<sub>о</sub>-3<sub>о</sub>-0 или сокращенно 3<sub>о</sub>-3<sub>о</sub>.

За рубежом распространена буквально – цифровая система обозначения осевых формул, при которой количество движущих колесных пар показывают большими буквами латинского алфавита, а цифрами обозначают количество бегунковых осей. Для примера приведенного выше, осевая формула -C<sub>о</sub>-C<sub>о</sub>. Индекс «о» у числа движущих колесных пар или у большой буквы латинского алфавита означает, что оси электровоза имеют индивидуальный привод. Отсутствие значка «о» - применение группового привода.

### 2.3. Устройство электровозов и моторвагонного подвижного состава

Электровозы и моторвагонный подвижной состав должны иметь плавный ход, обладать достаточной устойчивостью и ни одной своей частью не выступать за пределы габарита подвижного состава, установленного Госстандартом.

Каждый электровоз состоит из механической части и электрического оборудования. Механическую часть тележного электровоза составляют кузов и тележки. Кузов опирается через опоры на рамы тележки. Они, в свою очередь, через систему рессорного подвешивания и буксы на колесные пары. Тележки оборудованы рычажно-тормозной передачей и пневматическими приборами, необходимыми для приведения ее в действие, а также устройствами для подвески тяговых электродвигателей и передачи их вращающих моментов на колесные пары.

Обычно грузовые электровозы имеют по две трехосные тележки (ВЛ19, ВЛ22, ВЛ22<sup>М</sup>, ВЛ60, ВЛ60<sup>К</sup>...) или четыре двухосных (ВЛ8, ВЛ10, ВЛ80, ВЛ80<sup>К</sup>, ВЛ82). Каждая движущая колесная пара этих электровозов имеет свой тяговый электродвигатель (т.е. индивидуальный привод), который опирается с одной стороны через моторно-осевые подшипники на ось колесной пары, а с другой – подвешивается при помощи пружинных или эластичных элементов к средней балке или балке сочленения рамы тележки. Такую систему подвески тягового электродвигателя называют опорно-осевой. Опорно-рамная подвеска тягового электродвигателя – это когда тяговые электродвигатели установлены на раме и вес их полностью подрессорен (пассажирские электровозы ЧС1, ЧС2, ЧС3, Ф<sup>П</sup>, ЧС4).

Электрическое оборудование электровоза состоит из тяговых электродвигателей, преобразователей и трансформатора (электровозы переменного тока), вспомогательных машин (мотор-компрессоров, мотор-вентиляторов, генераторов управления, мотор-генераторов, мотор-насосов и преобразователей фаз), электрической аппаратуры (токоприемники, контакторы, пусковые реостаты, индуктивные шунты и др.) и аккумуляторной батареи.

Поезда моторвагонной тяги формируют из моторных и прицепных вагонов или из одних моторных. Моторный вагон является как бы локомотивом и в то же время его кузов служит помещением для пассажиров. Такой вагон условно обозначают буквой М, прицепной – П, соответственно головные: М<sub>Г</sub> и П<sub>Г</sub>.

Как правило, моторные и прицепные вагоны имеют по четыре колесных пары, расположенные в двух тележек. Обычно все колесные пары вагона являются движущими.

Каждый моторный или прицепной вагон состоит из механической части и электрического оборудования. Механическую часть моторного и прицепного вагона составляют кузова, рамы тележек, колесные пары, зубчатая передача, рессорное или пневматическое подвешивание, сцепные приборы и тормозное оборудование. Тележки всех моторных и прицепных вагонов производства стран СНГ двухосные. Электрическое оборудование вагонов состоит из тяговых электродвигателей, преобразователей тока (моторные вагоны переменного тока), вспомогательных машин, электрической аппаратуры и аккумуляторной батареи. Для увеличения емкости пассажирского помещения вагона всё основное электрическое оборудование подвешивают под кузовом на раме или устанавливают на крыше.

### Контрольные вопросы

1. Что осуществляет и включает в себя система электроснабжения железных дорог.
2. Источниками энергии для электроподвижного состава являются...
3. Линии передачи электрической энергии классифицируют по ...
4. Конструктивные особенности контактной сети.
5. Приведите схему питания электроподвижного состава постоянного тока и дайте необходимые пояснения к ней.
6. Приведите схему питания электроподвижного состава переменного тока и дайте необходимые пояснения к этой схеме.
7. Перечислите «признаки», по которым классифицируются электроподвижной состав.
8. Расскажите о контакторно-реостатном управлении тяговых электродвигателей.
9. Дайте пояснения об импульсном тиристорном управлении тяговых электродвигателей.
10. Классификация электроподвижного состава по роду тока.
11. Какие тяговые электродвигатели используются в электровозах и МВПС для железных дорог переменного тока промышленной частоты.
12. Классификация электровозов и МВПС по типу передач.
13. Классификация электровозов и МВПС по роду работы.
14. Что показывает (обозначает) осевая формула ходовых частей электровоза, ее особенности.
15. Классификация электровозов по осевым формулам ходовых частей.
16. Что такое сочленение тележек и какие функции оно выполняет.
17. Расскажите об опорно-осевом и опорно-рамном подвешивании тяговых электродвигателей.
18. Что входит в механическую часть электровоза.
19. Из чего состоит электрическое оборудование электровоза.
20. Конструктивные особенности моторвагонного подвижного состава.

## Литература

1. Калинин В.К. и др. Электроподвижной состав железных дорог. – М.:Транспорт, 1992, 392с.
2. Подвижной состав и тяга поездов. Под ред.В.В.Деева и Н.А.Фуфрянского . – М.: Транспорт, 1979, 368с.
3. Подвижной состав и тяговое хозяйство. Под ред. А.П.Третьякова. – М.: Транспорт, 1971, 352с.

## Лекция № 3

### Устройство, классификация и характеристики тепловозов

#### План

5. Общие сведения о локомотивной тяге и тепловозах.
6. Принцип действия и конструктивные особенности тепловоза.
7. Общее устройство современных тепловозов.
8. Дизель-поезда и их конструктивные особенности
9. Классификация и характеристики тепловозов.
- 10.Технико-экономические показатели тепловозной тяги.
- 11.Электрические и гидравлические передачи тепловозов.

### 3.1 Общие сведения о тепловозах и локомотивной тяге

Тепловоз - одним из возможных типов локомотива, т.е. силовая тяговая машина, предназначенная для создания движущей силы (силы тяги), под действием которой по рельсовым путям железных дорог перемещаются грузовые (составы вагонов с грузом) и пассажирские (составы вагонов с пассажирами ) поезда.

На железных дорогах стран СНГ и за рубежом использовались и используются локомотивы различных типов: паровозы, тепловозы, электровозы, газотурбовозы и др. Тип локомотива определяется, устройством и принципом действия его энергетической установки - первичного двигателя, который преобразует внутреннюю химическую энергию сгорания топлива в механическую работу вращения движущих колесных пар.

Создателями первого исторического типа локомотива - паровоза были талантливые российские механики отец и сын Черепановы (1834г.).

На паровозах внутренняя химическая энергия сгорания топлива (угля, дров или нефти) преобразуется в механическую посредством паросиловой

установки, состоящей из парового котла (генератора энергии) и паровой машины (двигателя). Однако такое преобразование энергии связано с большими потерями тепла и к.п.д. паровозов составляет всего 5...7%, редко 9%.

Тепловозом называется локомотив с поршневым двигателем внутреннего сгорания - дизелем, энергия от которого передается на колесные пары через электрическую, гидравлическую или механическую передачи. Преобразование внутренней химической энергии сгорания топлива в механическую работу в дизеле происходит в ограниченном, замкнутом объеме внутри цилиндра (внутреннее сгорание топлива, в отличие от внешнего - как в топке паровоза), что значительно снижает потери и обеспечивает более высокий к. п. д. тепловозов ~ 27...30%.

Основоположниками локомотивной тяги являются видные русские инженеры и ученые: Кузнецов Н. Г. и Одинцов А. И. (в 1905г. они разработали проект локомотива с двигателем внутреннего сгорания и электропередачей; Ломоносов Ю. В. и Липец А. И., которые в 1912г. закончили работу над проектом нефтевоза непосредственного действия на Ташкентской железной дороге, а также Гриневецкий В. И., Ошурков Б. М., Шелест А. И., Шишкин К. А., Гаккель Я. М. и многие другие.

В 1924 году по проекту Гаккеля Я. М. тремя Ленинградскими заводами был построен первый в мире мощный магистральный тепловоз (для сравнения: в Америке первый грузовой тепловоз был построен только в 1937 г.) с электрической передачей мощностью 735 кВт ( $\Gamma^{\text{Э}} - 1 = \text{Щ}^{\text{ЭЛ}} - 1$ ).

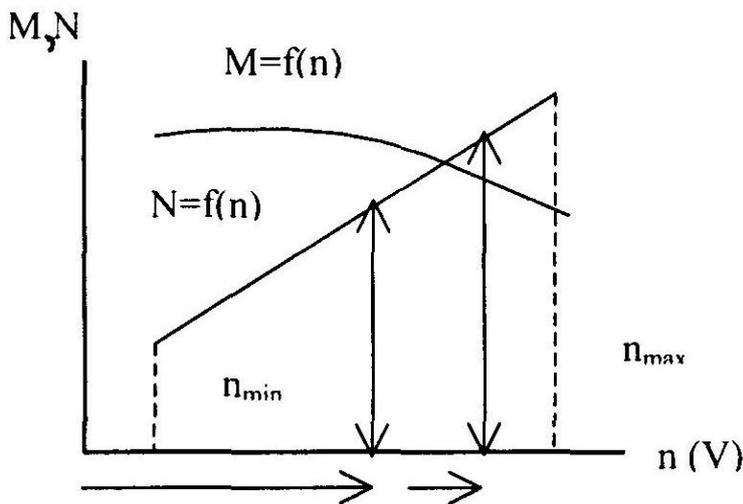
В 1925 году в Германии под руководством профессора Ломоносова Ю. В. был построен тепловоз с электропередачей  $\text{Э}^{\text{ЭЛ}} - 2$  более мощной в 790 кВт, а в конце 1926 года - тепловоз  $\text{Э}^{\text{МХ}} - 3$  с механической передачей. ( $\text{Э}^{\text{МХ}} - 3$  имел к. п. д. 30...31%, т. е. выше чем современные тепловозы – 27...30%). Однако механическая передача оказалась менее надежной для тепловоза такой мощности ( $N_e = 890$  кВт).

А в 1931 году, впервые в мире, на участке Ашхабадской дороги была введена тепловозная тяга.

В настоящее время: ПО «Лугансктепловоз» производит мощные грузовые тепловозы, ПО «Коломенский завод» выпускает пассажирские тепловозы, Брянский и Людиновский заводы -маневровые тепловозы, а Муромский завод - промышленные.

### 3.2. Принцип действия и устройство тепловоза

Первичный двигатель любого тепловоза - дизель, который преобразует внутреннюю химическую энергию сгорания топлива в механическую энергию вращения коленчатого вала. Причем мощность дизеля – двигателя внутреннего сгорания (д.в.с.) прямо пропорциональна частоте вращения его коленчатого вала (при неизменной подаче топлива). Приведем характеристику двигателя внутреннего сгорания, где обозначено:  $N$  – мощность д.в.с.;  $M$ -крутящий момент на коленчатом валу;  $n$ -частота вращения коленчатого вала.



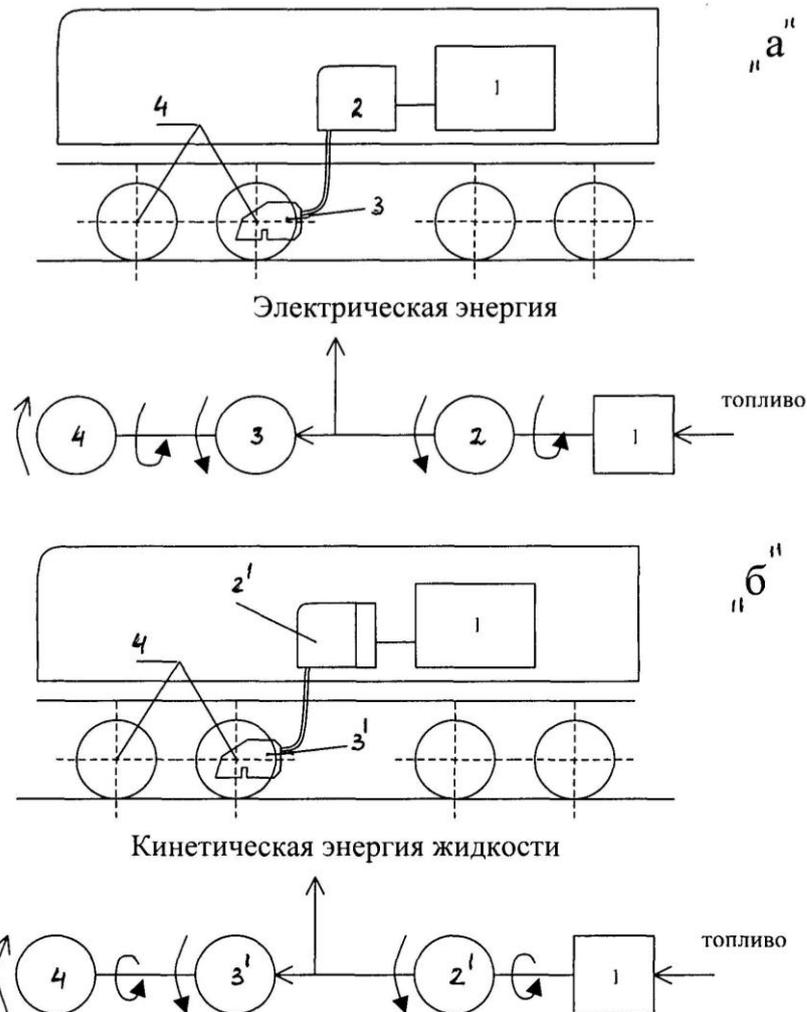
$$N = \frac{M \cdot n}{3,6}, \text{ кВт}$$

Из характеристики видно, что с увеличением частоты вращения коленчатого вала  $n$  (скорости движения  $V$ ) мощность  $N$  возрастает, а с уменьшением скорости  $V$ , наоборот, снижается, т. е.  $N \neq \text{const}$ . А для локомотива необходима работа двигателя (д. в. с.) на постоянном режиме - обычно при максимальной (номинальной) частоте вращения коленчатого вала, когда дизель развивает наибольшую мощность. При этом должно соблюдаться условие постоянства мощности, т. е.  $N = \text{const}$ .

Специальные промежуточные устройства, приспособляющие дизель к условиям работы на локомотиве, называются передачей. На тепловозах применяются главным образом электрические и гидравлические передачи.

Приведем принципиальные схемы размещения основного оборудования и преобразования энергии на тепловозах: а - с электрической передачей; б - с

гидравлической передачей, на которых: обозначено: 1 - дизель; 2 - тяговый генератор; 3 - тяговый электрический двигатель; 4 - колесные пары; 2' - гидравлический насос; 3' - гидротурбина.



Помимо дизеля и передачи к основным частям тепловоза следует отнести экипажную часть, электрическое и вспомогательное оборудование.

Экипажная часть тепловоза состоит из кузова, главной рамы с ударно-сцепными устройствами (автосцепками), тележек с колесными парами и упругим рессорным подвешиванием.

Главная рама тепловоза служит основанием для размещения силовой установки и вспомогательного оборудования. Она передает их массу (вес) через колеса на рельсы, а также, рама передает продольные тяговые усилия от ведущих осей к составу. Кузов размещается также на раме и защищает оборудование тепловоза от внешних воздействий. Кузова тепловозов бывают

двух типов: вагонного или закрытого (обычно у магистральных тепловозов) и капотного (у маневровых тепловозов).

Колесные пары большинства современных тепловозов размещены в тележках, двух или трехосных, которые могут поворачиваться относительно опирающейся на них главной рамы. Такое устройство экипажной части облегчает прохождение тепловозом кривых участков пути.

Вспомогательное оборудование обеспечивает нормальную работу дизеля, передачи и экипажной части, а также тепловоза в целом. К вспомогательному оборудованию относятся топливная, водяная и масляная системы дизеля, его устройства охлаждения и воздухообеспечения, а также системы охлаждения и вспомогательные устройства передачи, песочная и тормозная системы тепловоза, система пожаротушения и т. п.

Конструктивные особенности современных тепловозов рассмотрим на примере магистральных поездных локомотивов типа ТЭ10 (2ТЭ10М, 2ТЭ10В, 3ТЭ10М), UzTE16М и ТЭП70БС, а также маневровых – ТЭМ 2,3 и ЧМЭЗ.

Дизель - поезда применяются на неэлектрифицированных участках железной дороги для пригородного и местного сообщений. Дизель - поезда обычно комплектуются из двух моторных вагонов, расположенных по концам и двух - четырех прицепных вагонов в средней части поезда. Силовая установка дизель - поезда размещается в головной части моторного вагона или под вагоном между тележками. На дизель - поездах применяются электрическая, гидравлическая, а также и механическая передачи. Рижским вагонным заводом выпускаются дизель - поезда ДР - 1.

В ДР - 1 силовая установка состоит из V - образного дизеля М -756 мощностью 736 кВт, передача - гидравлическая. Силовая установка размещена в головной части моторного вагона. Эти дизель - поезда выпускаются в четырех и шести вагонном исполнении. На железных дорогах СНГ используются дизель - поезда Д 1 и Д, поставляемые из Венгрии. Дизель - поезд Д включает два моторных вагона и один прицепной. Мощность N каждого дизеля 368 кВт, передача к двум движущим осям трехосной тележки - механическая.

Дизель - поезд Д 1 состоит из двух моторных и двух прицепных вагонов, мощность дизеля – 538 кВт, передача гидромеханическая.

### **3.3. Классификация и характеристики тепловозов**

Тепловозы являются автономными локомотивами и классифицируются по следующим признакам:

по роду службы (виду выполняемой работы) - грузовые, пассажирские, маневровые и промышленные;

по типу передачи - с электрической, гидравлической и механической;

по числу секций - односекционные, двухсекционные, трех, четырехсекционные и многосекционные;

по типу экипажной части - тележечные и с жесткой рамой;

по ширине рельсовой колеи - на тепловозы нормальной колеи (1520 мм в СНГ и 1435 мм во многих зарубежных странах) и узкоколейные (ширина колеи от 600 до 1000 ÷ 1100 мм);

Серии тепловозов, т.е. группы тепловозов, построенных по одним и тем же проектам, принято обозначать сочетанием заглавных букв и цифр. Обозначение начинается с буквы Т (тепловоз); вторая буква Э или Г (характеризует тип передачи); третья буква говорит о назначении тепловоза П или М (пассажирский, маневровый) и далее номер серии, определяющий завод - изготовитель. Тепловозы Харьковского завода транспортного машиностроения им. В. А. Малышева имеют № 1 - 49, ПО «Коломенский заводом» № 50 - 99, ПО «Луганск-тепловоз» № 100 и выше.

Цифра перед буквенным обозначением означает число секций многосекционного тепловоза, например: 2ТЭП60, 3ТЭ10М, 2ТЭ10Л, 2ТГ 102, 4ТЭ10М и т.п.

В обозначения серии тепловозов, работающих в странах СНГ, но построенных за рубежом, введена буква, указывающая на страну - изготовитель, например: ЧМЭ2 и ЧМЭ3.

В маневровых тепловозах цифра означает очередной номер проекта тепловоза, например: ТГМ3, ТЭМ3, ТЭМ18 и ЧМЭ2.

Рассмотрим основные характеристики тепловозов, к которым относятся: осевая характеристика (осевая формула тепловоза), осевая нагрузка, габарит, а также служебный и сцепной вес тепловоза.

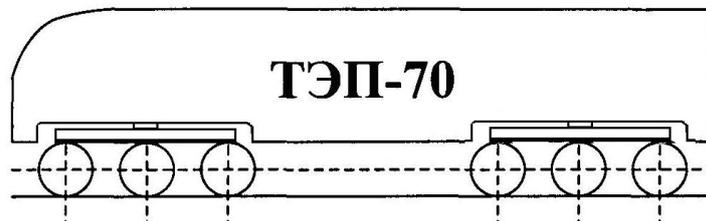
1. Осевая характеристика определяет тип экипажной части тепловоза и отражает число, расположение и назначение осей (колесных пар). Для тепловозов тележечного типа осевая характеристика представляет сочетание

цифр, число которых соответствует числу тележек, а каждая цифра показывает число осей в тележке. Для тепловозов нетележечного типа в осевой характеристике последовательно перечислено число осей бегунковых, ведущих (сцепных) и поддерживающих.

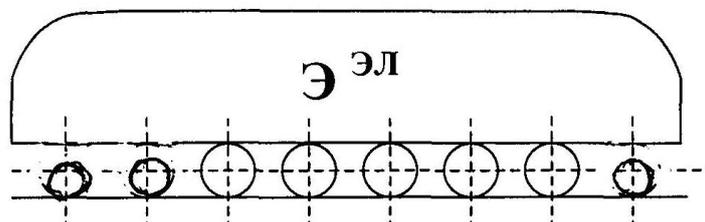
Приведем примеры, где обозначено: цифра “0” - отсутствие бегунковых или поддерживающих осей (колесных пар); “ - “ - несочленены; “ + “ - спарены (сочленены); “ о “ - индивидуальный привод, т. е. каждая колесная пара имеет свой, отдельный, тяговый электродвигатель.

$3_0 - 3_0$  или  $(0 - 3_0 - 0) - (0 - 3_0 - 0)$

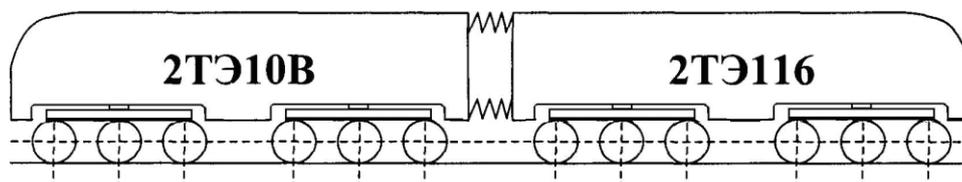
**$3_0 - 3_0$  или  $(0 - 3_0 - 0) - (0 - 3_0 - 0)$**



**$2 - 5_0 - 1$**

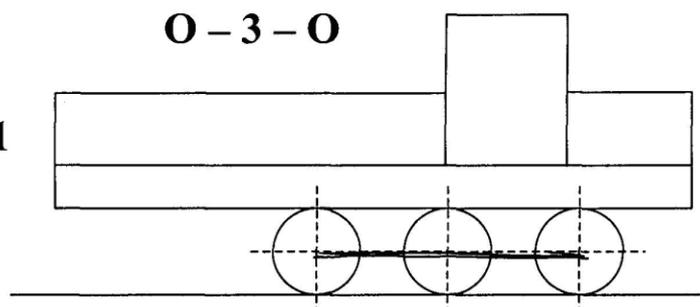


**$3_0 - 3_0 + 3_0 - 3_0$  или  $2(3_0 - 3_0)$**



**$0 - 3 - 0$**

**ТГМ 1**



За рубежом число ведущих осей обозначают буквы: А - одна ось; В - две; С - три; Д - четыре.

Таким образом:

$$3_0 - 3_0 \equiv C_0 - C_0$$

$$O - 3 - O \equiv O - C - O$$

Бегунковые или поддерживающие оси обозначаются также цифрами:

$$2 - 5_0 - 1 \equiv 2 - E_0 - 1$$

2. Осевая нагрузка  $q_0$  (нагрузка от оси на рельсы) характеризует статическое воздействие тепловоза на железнодорожный путь.

$$q_0 = 225 - 245 \text{ кН /ось}$$

3. Служебный вес тепловоза  $P_{сл}$  - это его полный вес с локомотивной бригадой, полным запасом воды и масла, а  $2/3$  запасов топлива и песка.

4. Сцепной вес тепловоза  $P_{сц}$  - вес, приходящийся на движущие колесные пары и участвующий в создании касательной силы тяги тепловоза. Так как у современных тепловозов все оси являются ведущими (движущими), следовательно:

$$P_{сл} = P_{сц}$$

5. Габарит - это предельное поперечное очертание (перпендикулярное к оси пути), за пределы которого не должна выступать ни одна часть локомотива (тепловоза) как нового, так и предельно изношенного.

Для локомотивов (тепловозов) стран СНГ стандартом установлены габариты Т и 1Т. Наиболее распространенный габарит 1Т имеет max предельную ширину 3400 мм и высоту 5300 мм. Тепловозы, предназначенные для экспорта, выполняются по меньшим габаритам, например: тепловозы М62 и ТЭ109 - по габариту 02 - ВМ.

Основными магистральными тепловозами, выполняющими перевозочный процесс, являются грузовые: ТЭЗ, 2М62, 2ТЭ10Л, 3ТЭ10М, 2ТЭ10М (В), 2ТЭ116, УзТЕ16М и пассажирские: ТЭП10, ТЭП60, ТЭП70.

### **3.4. Техничко-экономические показатели тепловозной тяги**

Основным технико-экономическим показателем при сравнении различных видов тяги является коэффициент полезного действия локомотива.

Универсальная формула для определения к. п. д. локомотива:

$$\eta_{\Gamma} = 3600 N_k / G_{\text{ч}} Q_{\text{H}}^{\text{P}} = \eta_{\text{е}} \cdot \eta_{\text{п}} \cdot \eta_{\text{всп}}$$

где  $N_k$  - мощность, отнесенная к ободу колеса, кВт;

$G_{\text{ч}}$  - часовой расход топлива, кг/ч;

$Q_{\text{H}}^{\text{P}}$  - теплота сгорания топлива, ккал/кг (кДж/кг)

$\eta_{\text{е}}$  — эффективный к. п. д. дизеля;

$\eta_{\text{п}}$  - к. п. д. передачи;

$\eta_{\text{всп}}$  - коэффициент, оценивающий расход энергии на тягу за вычетом расхода на собственные нужды.

$$\eta_{\text{е}} = 3600 / g_{\text{е}} Q_{\text{H}}^{\text{P}}$$

где  $g_{\text{е}}$  - удельный расход дизельного топлива, кг/кВт-ч.

Для увеличения к. п. д. тепловоза необходимо повышать к. п. д. дизеля -  $\eta_{\text{е}}$ , передачи -  $\eta_{\text{п}}$  и снижать расходы энергии на собственные нужды. При оценке экономичности тепловоза среднее значение к. п. д.  $\eta_{\Gamma} = 0,965$ ; среднее значение к. п. д. двигателя 0,9; а общий к. п. д. электрической передачи  $\eta_{\text{эл}} = 0,87$ . Если принять  $\eta_{\text{всп}} = 0,92$ , тогда к. п. д. тепловоза с электрической передачей:

$$\eta_{\Gamma} = 0,8 \cdot \eta_{\text{е}} = 0,8 \cdot 0,41 = 0,328$$

так как  $\eta_{\text{е}} = 0,0615 / g_{\text{е}} = 0,0615 / 0,150 \approx 0,41$

По основному показателю, оценивающему степень использования теплоты сгорания топлива, современный тепловоз приблизительно в пять раз экономичнее паровоза.

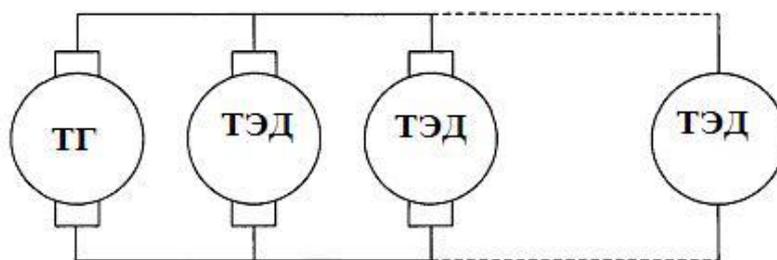
### 3.5. Электрические и гидравлические передачи тепловозов

На тепловозах применяют электрические передачи трех видов: постоянного тока, переменного-постоянного тока и переменного тока.

Передача постоянного тока, в которой и тяговый генератор (ТГ), и тяговые электродвигатели (ТЭД) выполнены в виде машин постоянного тока. Такие передачи наиболее просты, не имеют промежуточных звеньев, обладают высокими к. п. д. и регулировочными качествами. Однако, при росте секционной мощности тепловозов снижается надежность тяговых генераторов (секционная мощность до 2210 кВт).

(ТЭ1, ТЭ2, ТЭМ2, ТЭ3, ТЭ10 и т.д.)

Схема передачи постоянного тока

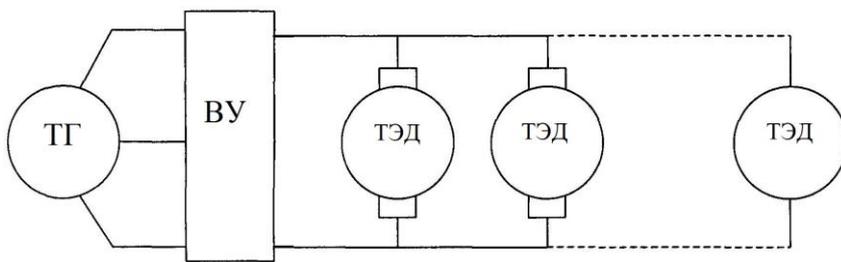


Передача переменного-постоянного тока, в которой тяговый генератор (ТГ) выполнен в виде синхронного генератора переменного тока, а тяговые электродвигатели (ТЭД) - постоянного тока. Для преобразования переменного тока в постоянный между генератором и двигателями включена выпрямительная установка ВУ, в связи с чем снижается общий к. п. д. передачи. Однако в эксплуатации такое снижение экономичности компенсируется снижением эксплуатационных расходов за счет большой надежности тягового синхронного генератора. Эти передачи применяются на тепловозах с секционной мощностью 1470 ÷ 4400 кВт.

При дальнейшем увеличении секционной мощности лимитирующим становится ТЭД (ТЭ 7, ТЭ 116, ТЭ 109, ТЭП 70 и т.д.).

Передача переменного тока, в которых тяговый генератор ТГ и тяговые электродвигатели ТЭД выполнены в виде электрических машин переменного тока. Для нормальной работы таких двигателей требуются одновременное регулирование напряжения и частоты переменного тока.

Схема передачи переменного-постоянного тока

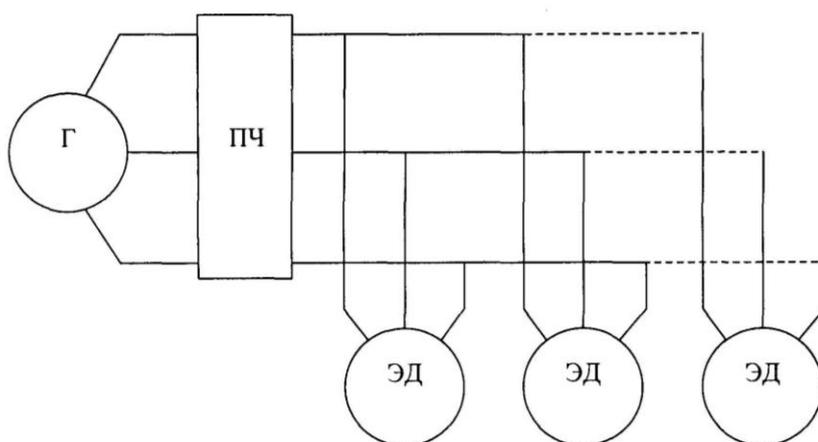


Поэтому между генератором и двигателями включается преобразователь частоты ПЧ. Такие передачи будут установлены на тепловозах мощностью 4400 кВт в секции и более.

Применение электрической передачи на тепловозах исключает жесткую связь между коленчатым валом дизеля и колесными парами.

(ТЭ20 – ВорТСЗ, разрабатывается проект с последующей его реализацией в ближайшие годы).

Схема передачи переменного тока



Гидравлические передачи могут быть двух типов: гидростатические (объемные) и гидродинамические.

В гидростатических передачах работа передается за счет высоких давлений жидкости при незначительных ее скоростях (расходах). Гидравлический насос и мотор выполняются в таких передачах в виде поршневых или ротационных машин, в которых изменение объема осуществляется принудительно. Однако, гидростатические передачи не нашли применения в качестве силовых передач тепловозов из-за различных технических трудностей (большие потери на трение, наличие утечек при высоких давлениях и т. д.). Гидростатические передачи небольшой мощности

используются для привода вспомогательных агрегатов тепловозов (например, вентилятора холодильника на пассажирских тепловозах ТЭП60 и ТЭП70).

В гидродинамических передачах используется кинетическая энергия жидкости (масло, вода), циркулирующая в замкнутом постоянном объеме. Такие передачи состоят из центробежного насоса и турбины, в которых имеет место не изменение объемов, а изменение скоростей движения жидкости.

Различают передачи, в которых мощность передается только через гидравлические элементы на всех режимах работы тепловоза (ТГМ1, ТГМ3А, ТГМ6, ТГ16) и передачи, в которых мощность передается, минуя гидравлические элементы, через коробку скоростей (механическую передачу) - тепловозы ТГМ2, ТГМ3, дизель-поезд Д1.

Первые передачи обычно называются гидравлическими, а вторые - гидромеханическими.

Основными преимуществами гидравлических передач по сравнению с электрической передачей являются меньшие габаритные размеры, масса и стоимость на единицу мощности, а также малый расход цветных металлов. Однако преобразование энергии в гидропередачах происходит с несколько большими потерями, что приводит к повышенному расходу топлива тепловозом (в среднем, приблизительно на 5%).

### **Контрольные вопросы**

1. Что такое локомотив и основные типы локомотивов.
2. Тепловоз – это...
3. Приведите краткие сведения о развитии локомотивной тяги.
4. Первичным двигателем на тепловозе является ... и его назначение.
5. Принцип действия тепловоза.
6. Что является на тепловозах «передачей» и её назначение.
7. Принципиальная схема размещения основного оборудования и преобразования энергии на тепловозах с электрической передачей.
8. Принципиальная схема размещения основного оборудования и преобразования энергии на тепловозах с гидравлической передачей.
9. Расскажите об экипажной части тепловоза.
10. Для чего служат главная рама и кузов тепловоза.
11. Вспомогательное оборудование тепловоза и его назначение.
12. Электрическое оборудование тепловоза и его назначение.
13. Конструктивные особенности магистральных (поездных) тепловозов.
14. Конструктивные особенности маневровых тепловозов.

15. Почему тепловозы являются автономными локомотивами.
16. По каким признакам классифицируются тепловозы.
17. Перечислите основные характеристики тепловозов и дайте по ним пояснения с конкретными примерами.
18. Основные технико-экономические показатели тепловозной тяги.
19. Общие сведения об электрических передачах тепловозов.
20. Общие сведения о гидравлических передачах тепловозов.
21. Дизельные поезда и их конструктивные особенности.

## Литература

1. Тепловозы. Основы теории и конструкции. Под ред. В.Д.Кузьмича – М.: Транспорт, 1991, 387с.
2. Конструкция, расчет и проектирование локомотивов. Под ред. А.А.Камаева – М.: Машиностроение, 1981, 398с.
3. Конструкция и динамика тепловозов. Под ред. В.Н.Иванова – М.: Транспорт, 1974, 336с.
4. Подвижной состав и тяга поездов. Под ред. В.В.Деева и Н.А.Фуфрянского . – М.: Транспорт, 1979, 368с.
5. Подвижной состав и тяга поездов. Под ред. А.П.Третьякова. – М.: Транспорт, 1971, 352с.

### Лекция № 4

#### Тепловозные двигатели внутреннего сгорания

##### План лекции

1. Общие понятия о тепловозных изделиях дизелях и рабочем цикле(процессе).
2. Принцип действия и классификация дизелей.
3. Рабочий процесс тепловозных дизелей.
4. Круговая диаграмма фаз газораспределения дизелей.
5. Основные технико-экономические показатели дизелей.
6. Устройства и конструктивные особенности тепловых дизелей.
7. Холодильник и воздушная система тепловоза.

#### **4.1. ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ О ТЕПЛОВОЗНЫХ ДИЗЕЛЯХ И РАБОЧЕМ ЦИКЛЕ.**

Тепловозный дизель является двигателем внутреннего сгорания, который можно рассматривается как состоящий из нескольких механизмов, соединенный между собой, а именно: кривошипно-шатунного, распределительного и механизмов вспомогательных агрегатов – насосы топливный, водяной, масляный и т. д.

Кривошипно-шатунный механизм предназначен для преобразования возвратно – поступательного движения поршня во вращательное движение кривошипа, представляющего собой часть коленчатого вала.

В двигателях применяются нормальный и дизаксиальный (со смещением оси вращения кривошипа) кривошипно-шатунные механизмы, а также нормальный кривошипно-шатунный механизм с прицельным шатуном (V – образный двигатель).

Тепловозные дизели часто имеют V образное расположение цилиндров с нормальным кривошипно-шатунным механизмом со смещенными (одинаковыми) шатунами.

В течение одного оборота кривошипа каждый поршень два раза изменяет направление движения. Это происходит в мертвых точках (положениях) механизма, где сила, действующая на поршень, находящийся в одном из этих положений, не вызывает крутящего момента на кривошипе.

Мертвое положение, при котором кривошип направлен от оси коленчатого вала внутрь механизма (к соответствующему поршню), называется **внутренней мертвой точкой**. (В.М.Т.), а другое мертвое положение, при котором кривошип направлен от оси коленчатого вала наружу (от поршня) – **наружной мертвой точке** (Н.М.Т.). Часто первую из них называют верхней мертвой точкой, а другую – нижней.

Для управления впуском газа и выпуском его из цилиндра предназначен распределительный механизм, от конструктивных особенностей которого двигатели могут быть разделены на две группы:

А) двигатели, имеющие клапанное – распределительный механизм;

Б) двигатели, у которых функции распределительного механизма выполняет поршень.

Преобразование в двигателе химической энергии сгорания топлива в механическую работу совершается при помощи газообразного рабочего тела, качество и количество которого изменяются. Все изменения, происходящие в рабочем теле в цилиндре, а также в смежных с цилиндром системах, которые предназначены для ввода рабочего тела или составных его частей в цилиндр и для удаления рабочего тела из цилиндра, называется **рабочим процессом двигателя**. Первую из этих систем называют впускную (или подводящей), а вторую – выпускной или выхлопной.

Рабочий процесс состоит из отдельных частей, которые следуют друг за другом в определенном порядке и периодически повторяются. Совокупность всех частей процесса, которые совершаются в течение одного периода, в одном цилиндре. Называется **рабочим циклом**.

Периодичность цикла характеризуется циклом кадров поршня, необходимым для его осуществления. Современные двигатели внутреннего сгорания делятся на два типа: четырехтактные, в которых требуется четыре хода поршня для осуществления рабочего цикла и двухтактные, в которых для той же цели требуется два хода поршня.

**Такт** – это часть рабочего цикла, совершающаяся между двумя следующими непосредственно друг за другом положениями механизма, при которых объем цилиндра имеет максимальное и минимальное значение.

При всех схемах механизма после двух следующих непосредственно один за другим тактов кривошипно-шатунный механизм возвращается в исходное положение. В двухтактных двигателях рабочий цикл совершается за один оборот кривошипа(коленчатого вала), а в четырехтактных – за два оборота ( $720^0$ ).

Кроме этого, характер рабочего цикла определяется следующими признаками: способами смесеобразования и самовоспламенения, родом топлива, способами впуска и выпуска.

Приведем отличие рабочих циклов под термодинамическим:

А) качество рабочего тела изменяется в течение цикла вследствие химических реакций(горения) и заменой продуктов сгорания свежих зарядов;

Б) количество рабочего тела также изменяется в течение цикла, вследствие впуска и выпуска газа, а в некоторых двигателях так же и вследствие ввода в цилиндр топлива;

В) в течение всего рабочего цикла происходит теплообмен между рабочем телом и стенками цилиндров, поршня и других деталей. Кроме того, рабочее тело получает теплоту при горении, длительность которого зависит от многих факторов. Поэтому

адиабатных процессов в составе рабочих циклов не бывает – это может быть лишь исключение.

Г) Теплоемкость газа зависит от температуры и химического состава, а потому она изменяется в течение рабочего цикла, в зависимости от этих двух переменных величин;

Д) Рабочий цикл совершается в течение определенного времени. Длительность цикла оказывает существенное влияние на форму индикаторной диаграммы (графическое изображение рабочего цикла в координатах давления  $P$  – объем  $V$ ) и на все параметры цикла двигателя

Е) Рабочий цикл зависит от конструктивных особенностей и размеров двигателя, что совсем не учитывается термодинамический цикл.

Приведем несколько примеров полных наименований типов двигателей по признаку рабочего цикла.

1. Четырехтактный двигатель с внутреннем смесеобразованием, с самовоспламенением

(подразумевается на тяжелом жидком топливе, с всасыванием, без продувки)

2. Двухтактный двигатель с внутреннем смесеобразованием с самовоспламенением (подразумевается на тяжелом жидком топливом с наддувом и продувкой).

3. Четырехтактные двигатель с внешнем смесеобразованием на легком жидком топливе (подразумевается с электрическим зажиганием, с всасыванием, без продувки).

4. Четырехтактный двигатель с внешним смесеобразованием, на газообразном топливе (подразумевается с электрическим зажиганием, с всасыванием, без продувки).

5. Двухтактный двигатель с калоризаторным воспламенением (подразумевается с внутреннем смесеобразованием, на тяжелом жидком топливе, с наддувом и продувкой).

## 4.2. ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ И КЛАССИФИКАЦИЯ ДИЗЕЛЕЙ

На тепловозах применяют безкомпрессорные двигатели внутреннего сгорания – дизели, работающие по принципу самовоспламенения от сжатия при подводе тепла по смешанному циклу.

А) Дизели классифицируют по следующим признакам: по способу осуществления рабочего цикла – двухтактный, в которых рабочий процесс совершается за один оборот коленчатого вала, и четырехтактные, в которых рабочий процесс совершается за два оборота коленчатого вала;

Б) по способу наполнения цилиндров свежим зарядом воздуха – без наддува (наполнения цилиндров происходит воздухом атмосферного давления). С наддувом – воздух в цилиндр подается под давлением(все современные тепловозные дизели – с наддувом);

В) по способу смесеобразования – с непосредственным впрыском топлива в цилиндр, предкамерные, вихрекамерные и воздушно-камерные (большая часть тепловозных дизелей имеет непосредственный впрыск топлива);

Г) по расположению цилиндров – однорядные и двухрядные (в большинстве случаев V образные) с числом цилиндров от 6 до 32. Однорядные дизели строят в основном с вертикальным расположением цилиндров, но в отдельных случаях (для дизель-поездов и автомоториз) – с горизонтальным расположением;

Д) по количеству поршней в цилиндре: с одним поршнем и со встречно-движущимися поршнями;

Е) По частоте вращения коленчатого вала дизеля и максимальной скорости поршня – средней быстроходности(частота вращения  $n_d=600/1000$  об/мин, скорость поршня  $7 < v \leq 10$  м/с) и быстроходные ( $n_d =1500/2000$  об/мин,  $10 < v \leq 15$  м/с). Быстроходные дизели имеют небольшой вес на единицу мощности и получают широкое распространение в современном тепловозостроении. Однако у них меньший моторесурс.

### 4.3. РАБОЧИЙ ПРОЦЕСС ТЕПЛОВОЗНЫХ ДИЗЕЛЕЙ.

Рассмотрим рабочие циклы

Четырехтактного и двухтактного дизелей, показаны на рис. 4.1. и рис 4.2. индикаторный диаграммы отображают процессы, происходящие внутри цилиндров. Длительность этих процессов и характер их течения, особенно в период впуска воздуха и выпуска газов, происходит по – разному. Одинаковый характер процессов в обоих двигателях показан при помощи пунктирных линий, обозначающих диаграммы теоретического смешанного цикла. При работе по этому циклу часть тепла подводится при постоянном объеме (изохорно), а часть – при постоянном давлении (изобарно).

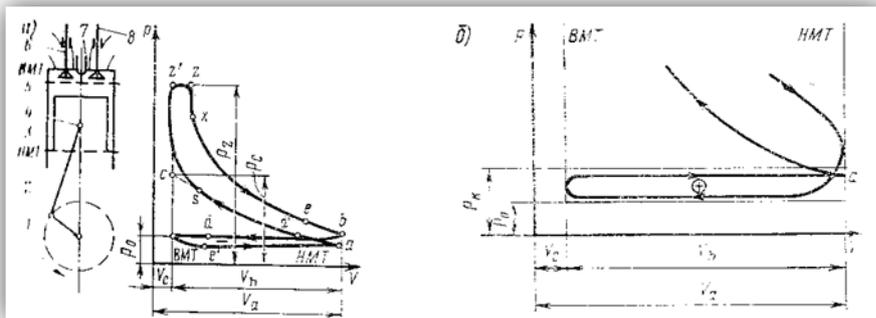


Рис. 4.1. схема четырехтактного дизеля и индикаторная диаграмма:  
 А – без надува;  
 Б – с надувом (процессы газообмена);  
 Va – полный объем цилиндра;  
 Vh – рабочий объем

цилиндра;

Vc – объем камеры сжатия;

p<sub>o</sub> – атмосферное давление;

p<sub>к</sub> – давление надвучного воздуха;

1 – коленчатый вал; 2 – шатун; 3 – поршень;

4 – поршневой палец; 5 – цилиндровая втулка (гильза);

6 – впускной клапан; 7 – форсунка; 8 – выпускной клапан.

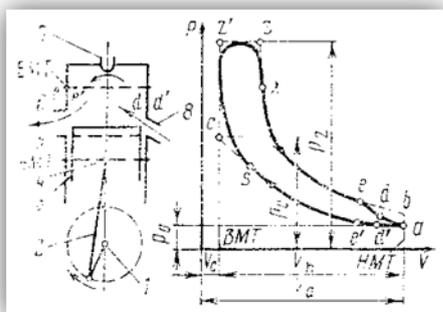


Рис. 4.2. Сема двухтактного дизеля и индикаторная диаграмма:

6 – выпускное окно;

8 – продувочное окно (остальные обозначения смотрите на рис. 1).

В дизелях рабочий процесс состоит из определенных стадий, которые отражены на индикаторной диаграмме

Выпск (наполнение) воздуха d – d<sup>1</sup>. В цилиндре четырехтактного двигателя воздух выпускается до прихода поршня в верхнюю мертвую точку (в.м.т.). Этот процесс позволяет создать необходимый заряд воздуха для сгорания топлива и продуть цилиндры от остаточных (отработавших) газов.

В двухтактных дизелях удаление продуктов сгорания из цилиндров (выпуск и продувка), а также наполнение их происходят за более короткий период времени; при этом воздух под давлением подается компрессорами. Продувка цилиндров двухтактных дизелей может быть поперечной. (см. рис 4.2) и прямоточной (продольной). Каждый их этих способов имеет много конструктивных решений. Пря прямоточной продувки достигается лучшее качество отчисти цилиндров от газов и меньший расход вохдуха. Поэтому в современных тепловозных двухтактных дизелях применена прямоточная продувка.

Для наполнения цилиндров дизеля увеличенным зарядом воздуха применяется надув, то есть, нагнетение воздуха в цилиндры под давлением 0.13... 0.28 МПа. Надув дает возможность 1,5-2 раза и более увеличить мощность при той же массе дизеля и несколько уменьшить расход топлива по сравнению с дизелем без наддува. Действительное количество воздуха поступающее в цилиндр, должно быть 1,7-2 раза больше теоретического, что необходимо для нормального протекания процесса горения. Это отношение называется коэффициентом избытка воздуха. Для наддува применяют воздушные компрессоры. Индикаторная диаграмма (участок газообмена) для четырехтактного дизеля с наддувом показаны на рис. 4.1.б. Процесс наполнения соответствует положительной работе двигателя.

Сжатие воздуха  $d'-c$ . При сжатии поршень движется от н. м. т. к в. М. т. При этом впускные и выпускные клапаны или окна закрыты. Сжатие происходит по политропическому процессу, т.е. при наличии теплообмена воздуха со стенками цилиндров. К концу сжатия температура воздуха в цилиндрах составляет 500 - 600° С и более, а давление  $p_c$  в дизелях средней быстроходности с наддувом достигает 4.0 – 5.0 МПа и в быстроходных – 7.0 – 9.0 МПа.

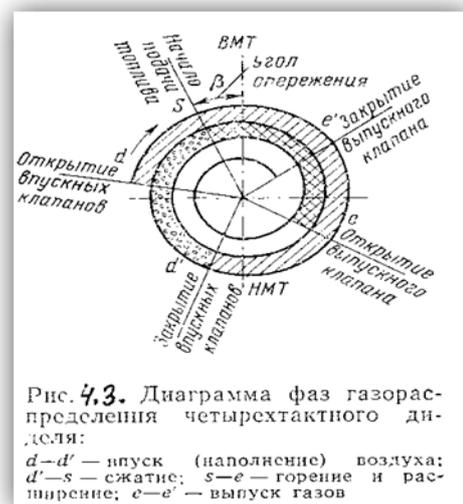
Горение топлива  $c - z^1 - z$ . Топливо впрыскивается в цилиндр дизеля в период, когда поршень еще не дошел до в.м.т. Начало впрыска показано на индикаторных диаграммах (см. рис. 4.1 и 4.2) точкой  $s$ . Угол поворота кривошипа от этой точки до в.м.т. называется *углом опережения впрыска топлива*. Топливо распыливается на мелкие частицы форсункой. Попав в среду воздуха с высокой температурой, топливо нагревается, испаряется и затем воспламеняется. Время между началом впрыска топлива в цилиндр и воспламенением называется периодом задержки воспламенения. Для большей надежности работы дизеля этот период желательно уменьшать.

Чтобы обеспечить полноту сгорания топлива, необходимо тщательное смешение воздуха и топлива (смесеобразование), что достигается мелким и равномерным распылом топлива по всему объему камеры сгорания, а также путем увеличения коэффициента избытка воздуха. Температура сгорания равна 1700 - 2200°С, а давление газов в этот период достигает 6.0 -14.0 МПа. Более высокие давления характерны для форсированных дизелей.

Расширение газов  $z - b$ . При движении поршня от верхней мертвой точки к нижней происходит расширение газов. Топливо, не успевшее сгореть в период  $c - z^1 - z$ , продолжает еще гореть в процессе расширения.

Выпуск отработавших газов –  $e - e'$ . процесс выпуска начинается до прихода поршня к н.м.т. в момент, показанный на диаграммах точкой  $e$ , и протекает следующим образом. В начале выпуск происходит за счет перепада давлений между рабочим цилиндром и выпускным коллектором. Затем поршень от н.м.т. начинает подниматься вверх и выталкивает часть газов, которые движутся в выпускном трубопроводе с большей скоростью, что способствует отсасыванию оставшихся в цилиндрах газов. Газы в этот период удаляются так же продувкой цилиндров воздухом, нагнетаемым компрессором.

Продолжительность периодов впуска, сжатия воздуха, расширения и выпуска газов зависит от работы газораспределительного механизма. У четырехтактных дизелей газораспределение осуществляется клапанным механизмом, управляемым кулачковым валом. У двухтактных дизелей всеми процессами газораспределения управляют поршнем,



за исключением двигателей с клапана – щелковой продувкой. В этом случае в газораспределении участвуют поршни и клапаны (выпускные).

#### 4.4. КРУГОВАЯ ДИАГРАММА ФАЗ ГАЗОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДИЗЕЛЕЙ.

Все рабочие процессы четырехтактного дизеля наглядно видны из круговой диаграммы фаз газораспределения (рис. 4.3.). Периоды впуска, выпуска и начало подачи топлива на этой диаграмме обозначены так же, как на индикаторной диаграмме (см. рис. 4.1.). Открытие впускных коопанов происходит в период, когда поршень не дошел до в. м. т. (в точке  $d$ ), и заканчивается в точке  $d'$ , когда поршень проходит н. м. т.т. Выпуск газов начинается в точке  $e$ , т.е. до прихода поршня в н.м.т. , и заканчивается в точке  $e'$  после прохождения поршнем в. м. т. Как видно из диаграммы газораспределения в период от точки  $d$  до  $e'$  одновременно открыты впускные и выпускные клапаны. Этот период называется **периодом перекрытия клапанов**, который необходим для продувки цилиндров от остаточных газов и охлаждения поршней и клапанов (особенно выпускных). Угол  $\beta$  на этой диаграмме называется **углом опережения подачи топлива**. У четырехтактных дизелей он колеблется от 15 до 30 градусов.

Диаграмма фаз газораспределения двухтактных дизелей зависит от типа продувки их цилиндров. Однако характер этой диаграммы почти такой же, как и у четырехтактных дизелей. Отличительной особенностью является то обстоятельство, что все процессы двухтактных дизелей происходят за один оборот коленчатого вала.

#### 4.5. ОСНОВНЫЕ ТЕХНОЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ДИЗЕЛЕЙ.

Для оценки качества работы дизелей применяются различных техникоэкономические показатели, к основным из которых относятся: эффективная мощность, литровая мощность, среднее индикаторное и эффективное давления, индикаторный и эффективный к.п.д., удельные величины расхода топлива и веса двигателя.

*Эффективная мощность дизеля*

$$N_e = (p_e V_h n_d z) / 225 \tau \quad (4.1)$$

Где  $p_e$  – среднее эффективное давление, МПа, учитывающее тепловые и механические потери в дизеле;

$V_h$  – рабочий объем цилиндра, м<sup>3</sup>;

$n_d$  – частота вращения вала дизеля, об/с;

$z$  – число цилиндров;

$\tau$  – коэффициент тактности : для четырехтактных дизелей  $\tau = 4$  для двухтактных  $\tau =$

2.

*Величина среднего эффективного давления:*

$$p_e = p_i \eta_m \quad (4.2)$$

где  $p_i$  – среднее индикаторное давление, учитывающее только тепловые потери в дизеле, МПа,

$\eta_m$  – механический к.п.д.

Для сравнения дизелей часто пользуются отношением полной цилиндровой мощности к объему цилиндра в литрах. Это отношение называют *литровой мощностью*. Из формулы (4.1) видно, что эффективная мощность  $N_e$  растет при одном и том же  $V_h$  за счет повышения эффективного давления  $p_e$ , что связано с увеличением давления наддувочного воздуха, и частоты вращения вала дизеля. *Индикаторным к.п.д.* называется отношение тепла, превращенного в работу в цилиндрах дизеля, к теплу сжигаемого топлива:

$$\eta_i = (632,3) / (Q_{HGi}^p) \quad (4.3)$$

где 632,3 – тепловой эквивалент механической работы;

$Q_H^p$  – теплота сгорания топлива, ккал/кг;

$g_i$  – удельный индикаторный расход топлива, г/(л.с.ч).

Значение  $\eta_i$  колеблется в пределах 0,40-0,48. Эффективный к.п.д. равен

$$\eta_e = (632,3) / (Q_H^p g_e) \quad (4,4)$$

где  $g_e$  – удельный эффективный расход топлива, г/(э.л.с.ч). Обычно  $g_e = 150/175$  г/(э.л.с.ч), а  $\eta_e = 0,36/0,42$ .

#### 4.6 УСТРОЙСТВА И КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ТЕПЛОВОЗНЫХ ДИЗЕЛЕЙ

На тепловозах устанавливают четырех- и двухтактные дизели, а по расположению цилиндров – однорядные и двухрядные с вертикальным и V-образным расположением. Однорядные двигатели бывают простого действия (2Д50, ПД1,6Д70) и со встречно-движущимися поршнями (2Д100,10Д100). К V-образным двигателям относятся М751, М756, 14Д40, 11Д45, 1Д12, 5Д49, 12Д70, Д56.

Перед промышленностью поставлена задача создания унифицированного ряда дизелей с диапазоном мощности от 1000 до 6000 л.с. (736...4415кВт). Переход на дизелей типов Д49, Д56 и Д70 позволит получить до 10% экономии топлива и значительно снизить капитальные и эксплуатационные затраты за счет применения единых мощностных рядов. Дизели одного мощностного ряда имеют одинаковые размеры цилиндров, поршней и других узлов и отличаются друг от друга мощностью, измененный за счет увеличения давления наддува или числа цилиндров.

На тепловозах стран СНГ в настоящее время устанавливаются дизели 5ти типов. Для магистральных (поездных) тепловозах основными являются дизели типа Д100 и лишь незначительное количество их оборудуется дизелями типов 11Д45 и 14Д40. На железнодорожных участках ГАЖК «Узбекистон Темир Йўллари» на магистральных тепловозах основными являются дизели типов Д100 (тепловозы серии ТЭ10М) и Д49 (тепловозы серии UzTE16М). На маневровых тепловозах используются следующие типы дизелей: Д50, ПД1, М750 и 1Д12.

Для всех типов тепловозных дизелей характерно общее направление развития – повышение удельной мощности за счет применения газотурбинного наддува и использованием промежуточного охлаждения воздуха, повышение агрегатных мощностей, экономичности, надежности и срока службы. Характерны для них так же построение мощностных рядов на базе цилиндров одной размерности за счет уровня форсировки, изменение количество цилиндров, замены или навешивания отдельных узлов и агрегатов для приспособления их к различным требованиям потребителей.

Применение газотурбинного наддува и промежуточного охлаждения воздуха позволило достигнуть средних эффективных давлений 1,0МПа у двухтактных и 1,4...1,6 МПа у четырехтактных тепловозных дизелей. Рабочий процесс таких дизелей осуществляется с относительно высоким давлением наддува, т.е. порядка 0,15...0,3 МПа с максимальными (практически возможными) степенями сжатия и расширения при коэффициентах избытка воздуха в цилиндре 1,8...2,5 и максимальных давлениях сгорания в цилиндре 8,0...12,0 МПа.

Все тепловозные дизели стран СНГ являются быстроходными со средними скоростями поршня 7...10 м/сек. и по числу оборотов они могут быть разделены на две группы – до 1000 об/мин. включительно и 1400...1500 об/мин. Практика эксплуатации тепловозов показывает, что дизели с числом оборотов 750...1000 в минуту имеют большую надежность и моторесурс. При большой протяженности ж/д сети, различия климатических и природных ресурсов, значительной интенсивности перевозок главное внимание должно уделяться надежности и сроку службы дизелей. В этой связи первая группа дизелей получила преимущественное распространение на магистральных и мощных маневровых тепловозах ж/д стран СНГ и ГАЖК «Узбекистон Темир Йўллари».

Аналогичные тенденции наблюдаются в зарубежной практике тепловозного дизеле-строения.

Для тепловозов с электрической передачи число оборотов порядка 1000 об/мин. позволяет создать генераторы постоянного тока с оптимальными параметрами. У тепловозов с гидropередачей выгоднее повышать число оборотов дизелей либо устанавливать редуктор.

На тепловозах устанавливают четырех- и двухтактные дизели, а по расположению цилиндров – однорядные и двухрядные с вертикальным и V- образным расположением. Однорядные дизели бывают простого действия (2Д50, ПД1, 6Д70) и со встречно-движущимися поршнями (2Д100, 10Д100). К V- образным дизелям относятся М751, М753, М756, 14Д40, 11Д45, 1Д12, 5Д49, 12Д70, Д56.

Известно, что переход на дизели единных мощностных рядов позволяет получить до 100% экономии топлива и значительно снизить капитальные и эксплуатационные затраты. Дизели одного мощностного ряда имеют одинаковые размеры цилиндров, поршней и др. узлов, агрегатов и отличаются друг от друга мощностью, которая изменяется за счет увеличения давления наддува или числа цилиндров.

Шатунно – кривошипный механизм преобразует поступательное движение поршней во вращательное движение коленчатого вала, который воспринимает работу от всех цилиндров и передает мощность дизеля тяговой передачи. Коленчатые валы состоят из коренных и шатунных шеек, щек, соединяющих эти шейки, фланцев или других элементов лужащих для отбора мощности на потребитель (генератор и др.).

*Шатун дизеля* состоит из верхней головки, стержня, нижней головки и скрепляющих болтов. А поршневая группа состоит из поршня, поршневых колец и поршневого пальца. Эта группа деталей работает в тяжелых условиях, т.к. подвергается высоким температурным и большим механическим воздействиям. Поршни могут быть неразъемными и разъемными. Неразъемные поршни изготавливают из жаростойких легированных чугуна и стали, а также из алюминиевых сплавов. В случае разъемных поршней применяют съемные днища из высокопрочных и жаростойких материалов. По мере износа их заменяют. Днища поршня особенно у двухтактных дизелей, подверженным воздействию газов высокой температуры, связи с чем производят охлаждения поршней.

В головке каждого цилиндра четырехтактных дизелей обычно установлены четыре клапана – два впускных и два выпускных, реже – два (один впускной, а один выпускной). Выпускные клапаны имеются и у двухтактных дизелей с прямой клапанно-щелевой продувкой (например, дизель 11Д45).

Распределительные кулачковые валы открывают и закрывают клапаны в соответствии с установленным порядком работы цилиндров через механизм привода к клапанам (штанги, толкатели, рычаги).

Распределительный вал у быстроходных дизелей часто расположен вверху над крышкой, и его кулачки непосредственно или при помощи траверса управляют открытием и закрытием клапанов.

У тихоходных или средней быстроходности дизелей, как, например, Д50, ПД, распределительные валы выполнены с нижним расположением относительно блока. От вала в этом случае привод к клапанам осуществляется при помощи штанги, толкателей и рычагов. Штанга снабжена роликом, который должен постоянно находиться в контакте с кулачком. Клапанный механизм включает клапан, направляющую втулку или корпус клапана, пружину и тарелку клапана.

Наддув, т.е. увеличение плотности поступающего в цилиндре воздуха, является эффективным методом повышения мощности дизеля при неизменных габаритных размерах цилиндров и частоте вращения коленчатого вала.

В современных дизелях применяют наддув газотурбинный, механический при помощи воздуходувки (центробежных и ротационный, имеющих привод от вала дизеля), и

комбинированный, при котором воздух сжимается обычно в начале турбовоздуховки (первая ступень), а затем в приводном нагнетателе (вторая ступень). При газотурбинном наддуве (рис.4.4.) используется энергия отработавших газов, которые направляются в газовую турбину 2. На одном валу с колесом газовой турбины насажено колесо воздушного нагнетателя 3. Нагнетатель подает воздух по коллектору (ресивером) 4 в цилиндр при открытии соответствующего клапана или окна цилиндра дизеля (у двухтактных дизелей). Такой способ наддува применен на дизелях ПД, Д49, Д70 и др.

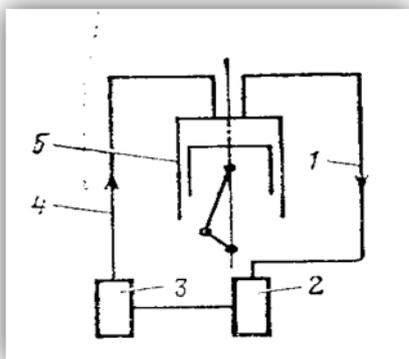


Рис. 4.4. Схема газотурбинного наддува:

- 1 – выпускной коллектор;
- 2 – газовая турбина;
- 3 – нагнетатель;
- 4 – ресивер;
- 5 – цилиндр

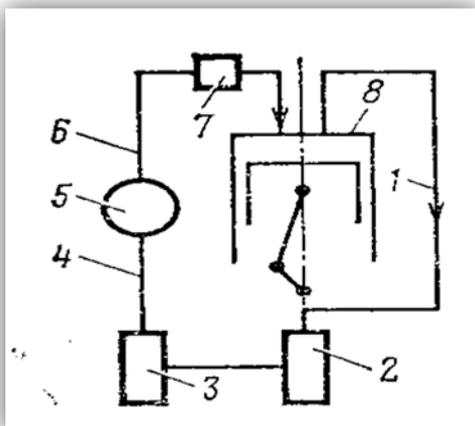


Рис 4.5. Схема комбинированного наддува:

- 1 – выпускной коллектор;
- 2 – газовая турбина;
- 3 – нагнетатель;
- 4 – ресивер;
- 5 – приводной нагнетатель;
- 6 – ресивер;
- 7 – холодильник наддувочного воздуха;
- 8 – цилиндр

Наддув с механическим приводом как самостоятельный применяется редко, в частности на дизеле 2Д100. Комбинированный наддув (рис.4.5.) представляет собой сочетание двух рассмотренных способов – газотурбинного и с механическим приводом. Первая ступень сжатия воздуха происходит в нагнетателе 3 турбовоздуховки. Вторую ступень сжатия обеспечивает центробежный нагнетатель 5, имеющий привод от коленчатого вала дизеля. После двух ступеней сжатия воздух нагревается. Поэтому для увеличения плотности заряда его, как правило, охлаждают в воздуховодяных или воздухо-воздушных холодильниках 7. Такой принцип наддува применен на дизелях 10Д100, 11Д45 и др.

В состав основной топливной системы дизеля входят топливные насосы и форсунки. На большинстве современных дизелей применены насосы золотникового типа, предназначенные для подачи и дозирования сжатого топлива в цилиндры. Топливные насосы бывают блочного и индивидуального типов. Блочные насосы имеют общий блок с количеством секций, равным числу цилиндров. Индивидуальной насосы установлены у каждого цилиндра, а в дизелях типа Д100 один цилиндр обслуживает 2 насоса. Устройство одной секции индивидуального и блочного насосов принципиально одинаково.

Количество подаваемого топлива в цилиндр – цикловая подача – определяется высотой винтовой кромки, расположенной на золотниковой части головки плунжера. Чем больше высота от винтовой линии плунжера (у всасывающего канала) до торца его

головки, тем больше цикловая подача. Высота винтовой линии, а следовательно, и регулирование количества топлива, подаваемого в цилиндр за рабочий ход поршня, осуществляются поворотом плунжера при помощи шестерни и регулирующей реки, которой управляет объединенный регулятор мощности дизеля.

Давление топлива в начале впрыска составляет 21.0 ... 21.5 Мпа, а в конце – более 55.0 Мпа.

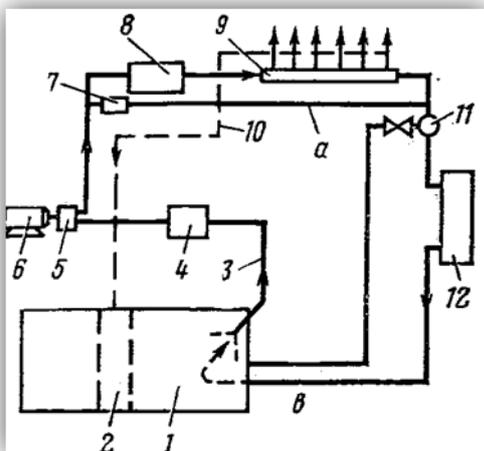
На всех современных тепловозных дизелях применяются форсунки закрытого типа. Они имеют иглу, притертую к корпусу распылителя и нагруженную пружиной. Игла преграждает доступ топлива к распылителю и она может открыть канал к распылителю только в случае преодоления силы действия пружины. У тепловозных дизелей начальное давление впрыска топлива равно 20.0 ... 30.0 Мпа. Только при таком давлении может быть преодолено сопротивление пружины и топливо поступит к отверстиям распылителя форсунки.

На всех тепловозных дизелях установлены регуляторы частоты вращения коленчатого вала дизеля. На отдельных дизелях современной постройки (Д49, Д70, 10Д100 и 11Д45) применяют объединенный регулятор, который имеет в одном агрегате регулятор частоты вращения и регулятор мощности. Регулятор частоты воздействует на регулирующий орган топливных насосов (рейку) и, как уже указывалось, поддерживает постоянную частоту вращения вала. Регулятор мощности воздействует на индуктивный датчик, включенный в систему возбуждения тягового генератора. Таким образом, объединенный регулятор воздействует одновременно на режим работы дизеля и тягового генератора, что обеспечивает полное использование мощности дизеля при колебаниях внешней нагрузки и мощности вспомогательных агрегатов.

На дизелях ПД1М, Д50, Д100, Д45, Д70, Д49 и др. установлены всережимные регуляторы, устройство и принцип действия которых одинаковы.

Всережимными они называются потому, что могут поддерживать стабильность частоты вращения коленчатого вала на любом режиме работы и во всем диапазоне частот от минимальных до полных. Эти регуляторы имеют гидромеханический привод.

*Вспомогательная Топливная Система* предназначена для непрерывной подачи отфильтрованного топлива к топливному насосу дизеля. Она состоит из одного, двух или трех баков для запаса топлива, подкачивающего насоса, фильтров, топливоподогревателей, клапанов, регулирующих давление топлива в системе, и в трубопроводов. Схемы расположения агрегатов и трубопроводов для подвода топлива к дизелям примерно одинаковы на всех тепловозах (рис. 4.6).



### Топливо к насосам высокого давления

Рис. 4.6. Схема вспомогательной топливной системы тепловоза:

- 1 – бак;
- 2 – отсек грязного топлива;
- 3 – всасывающая труба;
- 4 – фильтр первичной (грубой) очистки топлива;
- 5 – подкачивающий насос;
- 6 – электродвигатель;
- 7 – регулировочный клапан;
- 8 – фильтр вторичной (тонкой) очистки топлива;
- 9 – коллектор низкого давления;
- 10 – сливной трубопровод;
- 11 – кран;
- 12 – топливоподогреватель.

Топливо из бака 1 через сетчато-набивные фильтры 4, предусмотренные для первичной очистки, засасывается подкачивающим насосом (помпой) 5 и нагнетается под давлением 0,2...0,3 Мпа в коллектор 9 насосов высокого давления дизеля.

Между подкачивающим насосом и топливным коллектором 9 установлен клапан 7 на 0,5...0,6 Мпа и фильтр 8 вторичной очистки топлива. На тепловозах применяют войлочно-щелевые, войлочные и сетчатые фильтры. В случае засорения этого фильтра или увеличения вязкости топлива клапан 7 перепускает часть топлива по трубе *a* обратно в бак.

Через коллектор 9 проходит в 2-3 раза больше топлива, чем потребляется дизелем при максимальной мощности. Избыток топлива возвращается в топливный бак по трубе *a* или через топливоподогреватель 12, и тем самым в баке поддерживается необходимая температура топлива 35-50<sup>0</sup>С. Топливоподогреватель 12 представляет собой обычный трубчатый теплообменник. По трубам, укрепленным между двумя решетками, протекает горячая вода из дизеля, а между трубами – топливо. По трубе *b* подогретое топливо поступает к эжекционному устройству и смешивается с засасываемым из бака холодным топливом. В топливной системе тепловозом с котлом родогрева имеется и топливный бак этого котла.

Масло к трущимся частям подается при помощи вспомогательной масляной системы тепловоза. В процессе работы масло загрязняется и нагревается до температуры 75-85<sup>0</sup>С. Загрязнение происходит потому, что в поддон постоянно стекает отработавшее масло с трущихся поверхностей.

Схемы масляных систем на тепловозах примерно одинаковы (рис.4.7). масло из поддона 1 дизеля (картера) направляется в холодильник 9 (в воздушно-радиаторные секции или в водомасляный теплообменник), где его температура снижается на 15-20<sup>0</sup>С. Охлажденное масло проходит через щелевой фильтр 6 (фильтр грубой очистки) и поступает в маслораздаточный коллектор 3 дизеля и далее к подшипникам коленчатого вала, распределительным валам, шестерням и другим деталям.

На дизеле типа Д100 имеются два маслораздаточных коллектора- верхний и нижний, из которых масло поступает на смазку трущихся поверхностей и для охлаждения поршней. Часть масла (10-15%) в процессе циркуляции проходит фильтр тонкой очистки 7 и после него попадает в поддон дизеля. В качестве фильтрующего материала применяют хлопчатобумажные концы (ТЭ2, ТЭМ1, ТЭМ2 и др.), фильтрованную бумагу (ТЭ3, ТЭ10 и др.). В качестве дополнительного фильтра тонкой очистки на ряде тепловозов

устанавливают центрифуги (2ТЭ10В, ТЭП60 и др.).

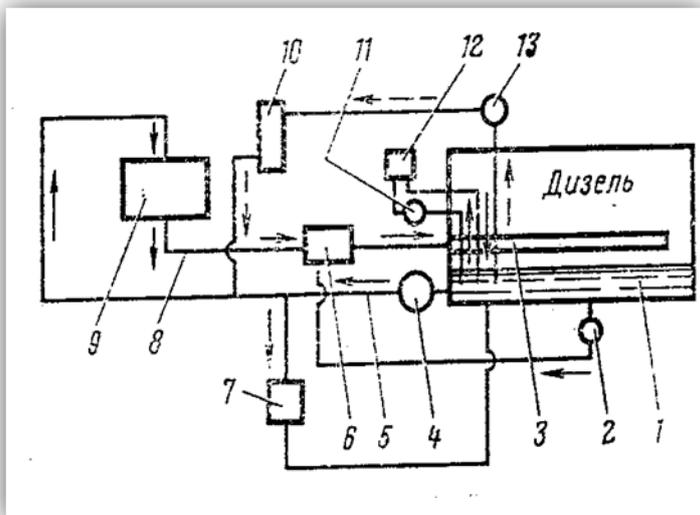


Рис. 4.7. Схема масляной системы тепловоза:

- 1 – поддон (картер) дизеля;
- 2 – насос для прокачки масла перед запуском;
- 3 – маслораздаточный коллектор;
- 4 – главный циркуляционный насос;
- 5 – трубопровод горячего масла;
- 6 – фильтр грубой очистки масла;
- 7 – фильтр тонкой очистки масла;
- 8 – трубопровод охлажденного масла;
- 9 – холодильник;
- 10 – маслоподогреватель;
- 11 – насос центрифуги;
- 12 – центрифуга;
- 13 – насос для прокачки масла через маслоподогреватель

Наличие нескольких фильтров усложняет конструкцию системы. Перспективным направлением является применение полнопоточных фильтров тонкой очистки (тепловозов ТЭП70).

На тепловозах с котлом подогрева устанавливают маслоподогреватели, которые применяются при пуске зимой или при выключенном дизеле. В последнем случае для прокачки подогретого масла по всей системе или по ограниченному контуру (исключая секции холодильника) служит прокачивающий насос с приводом от аккумуляторной батареи. При падении давления масла в дизеле ниже установленного срабатывает реле давления масла. Это вызывает прекращение подачи топлива в дизель и его остановку.

У некоторых дизелей, например типа Д100, предусмотрено два реле давления масла. Одно из них снимает возбуждение главного генератора, т. е. переводит дизель на работу в режим холостого хода, а второе – прекращает подачу топлива в дизель, т. е. останавливает его.

Вода для охлаждения деталей дизеля, масла в водомасляных теплообменниках и для теплообменников наддувочного воздуха циркулирует в водяной системе. Эта система одновременно служит для обогрева кабин машиниста, подогрева топлива и масла. Водяные системы бывают открытые и закрытые. Закрытые системы дают возможность повысить температуру воды на выходе из дизеля путем увеличения давления воды в системе. Применяются среднетемпературные и высокотемпературные системы. Последние позволяют увеличить теплообмен в 2-2,5 раза и значительно уменьшить холодильник и затрачиваемую на него мощность. Вместе с тем происходит увеличение температуры масла, а следовательно, необходима более частая его сменяемость. Высокотемпературные системы применяются на тепловозах ТГ16, ТГ102. Принципиально схемы открытых водяных систем всех тепловозов примерно одинаковы (рис.4.8).

Вода засасывается центробежным насосом 3 из секций радиаторов 5 холодильника и нагнетается в коллектор 1 охлажденной воды. Далее она поступает для охлаждения цилиндрических втулок дизеля. Нагретая вода поднимается в коллектор 2 горячей воды и далее в секции холодильника, а также в калорифер 12 для обогрева кабины машиниста, в топливоподогреватель и маслоподогреватель (при наличии водоподогревательных котлов).

В водяной системе имеется расширительный бак 7. Он оборудован горловиной для налива воды, водомерным стеклом и сигнальной переливной трубой. Температура воды контролируется аэротермометрами.

На некоторых тепловозах в водяную систему включен водоподогревательный котел 8 для поддержания рабочих температур масла, воды, топлива дизеля и холодильника при неработающем двигателе. Однако в практике эксплуатации выяснилось, что такие котлы не оправдали своего назначения и на большинстве строящихся тепловозов их не применяют.

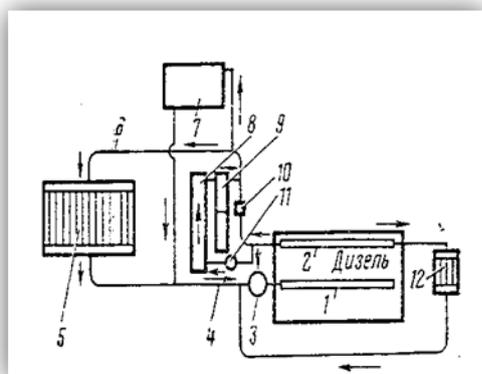


Рис 4.8. схема водяной системы тепловоза:

- 1 – коллектор охлажденной воды;
- 2 – коллектор горячей воды;
- 3 – циркуляционный насос;
- 4,6 – трубопроводы;
- 5 – водяные секции (радиаторы) холодильника;
- 7 – расширительный бак;
- 8 – водонагревательный котел;
- 9 – подогреватели масла и топлива;
- 10 – обработанный клапан;
- 11 – насос котла;
- 12 – калорифер

## 7. ХОЛОДИЛЬНИК И ВОЗДУШНАЯ СИСТЕМА ТЕПЛОВОЗА.

От нагреваемых частей дизеля в холодильник с водой и маслом отводится до 25% - 30% всего тепла согревающего топлива. Если бы нагреваемые части дизеля (втулки, поршни, цилиндрические крышки, форсунки, клапаны газораспределения) не охлаждались, то это привело бы к из быстрому износу и разрушению. Тепловозные холодильники могут быть воздушно-радиаторные и смешанные с применением водомасляных теплообменников.

В воздушно-радиаторных системах (рис. 4,9. а) вода и масло охлаждаются в секциях 3 и 4 воздушных радиаторов. В холодильниках смешанного типа (рис. 4,9, б) вода охлаждается в секциях 5 и 6 воздушных радиаторов, а масло – в трубчатом водяном теплообменнике 3. На тепловозах современной постройки в нашей стране и зарубежом применяются смешанные системы охлаждения.

Создавая конструкцию холодильника, стремятся уменьшить его вес, размеры, затраты мощности и вентиляторы и насосы, увеличить надежность в работе. Уменьшение веса холодильника важно и потому, что радиаторы и трубки теплообменников делаются из меди, ее сплавов и других дефицитных цветных металлов.

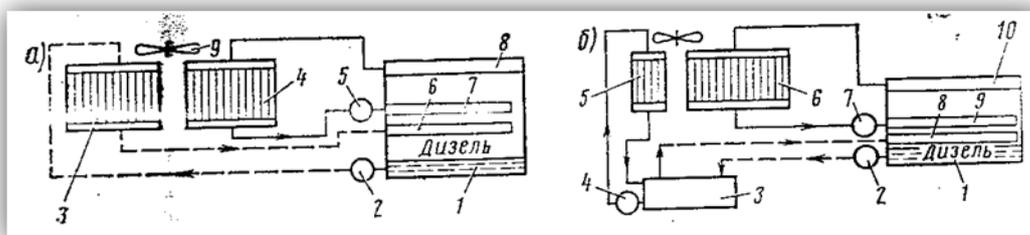


Рис. 4,9. Схема холодильников тепловозов:

**а – воздушно-радиаторная система охлаждения воды и масла;**

1 – горячее масло; 2 – масляный насос; 3 – масляные секции; 4 – водяные секции; 5 – водяной насос; 6 – маслораздаточный коллектор; 7 – коллектор охлажденной воды; 8 – коллектор горячей воды; 9 – вентилятор;

**б – система охлаждения с водомасляным теплообменником;**

1 – горячее масло; 2 – масляный насос; 3 – теплообменник; 4 - водяной насос теплообменника; 5 – секции для охлаждения воды теплообменника; 6 – водяные секции для охлаждения воды дизеля; 7 – водяной насос; 8 – маслораздаточный коллектор; 9 – коллектор охлажденной воды; 10 – коллектор горячей воды.

При использовании водомасляного теплообменника воды, охлаждающая масло, поступает затем в воздушные радиаторы (водяные секции), где охлаждается и снова возвращается в теплообменник. Водомасляные теплообменники позволяют снизить расход металла и затраты мощности на масляный холодильник и более надежны в работе. Масляные радиаторы (секции) как показала практика эксплуатации, часто выходят из строя, особенно в зимний период работы. Эксплуатационные работы на холодильник при смешанных системах охлаждения с водомасляными теплообменниками на 30 – 40% меньше, чем при воздушно – радиаторных системах.

Рассмотрим устройство холодильников, состоящих из секций (радиаторов), водомасляных теплообменников (при смешанных системах охлаждения), вентиляторного колеса (или колес) и провода к нему. Секции холодильника установлены в специальной шахте. Водяные и масляные секции объединены коллекторами. Шахта холодильника имеет жалюзи, открытие и закрытие которых (полное или частичное) регулирует количество воздуха, поступающего в секции холодильника.

Водяные и масляные секции являются теплообменниками поверхностного типа. Секции включают концевые коллекторы и расположенный между ними пучок плоскоовальных трубок с охлаждающими пластинами толщиной 0,1 мм. Материалом трубок является томпак Л96 (латунь с 96% содержанием меди), а охлаждающих пластин – медь МЗ. Для улучшения теплоотдачи на пластинах выдавлены бугорки, что способствует завихрению воздуха. Концевые коллекторы предназначены для присоединения секций и соответствующим подводящим и отводящим коллектором радиатора, а также для подвода воды или масла через отверстия к трубкам. На некоторых тепловозах применяются масляные секции с трубками заторами внутри трубок, т.е. в потоке масла. Турбулизаторы увеличивают теплообмен в 2,5...3,0 раза. Однако эти секции быстро загрязняются. Удаление грязи из трубок при наличии турбулизаторов представляет большие трудности. В связи с низкой надежностью на современных тепловозах отказались от применения масловоздушных секций и перешли к водомаслянным теплообменникам.

Водомаслянные теплообменники состоят из корпуса, двух коллекторов и трубных решеток, в которые вварены трубки. По трубкам протекает охлаждающая вода, а между трубками (в корпусе) – горячее масло. Одно из трубных решеток укреплено жестко между коллектором и корпусом, а другая может перемещаться при удалении трубок. В отдельных конструкциях теплообменников применяют с трубки с короткими накатанными ребрами. Если внутри трубок установлены турбулизаторы, то теплообмен значительно повышается. В этом случае поток масла проходит внутри трубок, а вода циркулирует между ними.

На тепловозах устанавливают от одного до четырех вентиляторов над шахтой холодильника. Имеющих шесть – восемь лопастей. Вращение вентиляторному колесу у большинства тепловозов сообщается от коленчатого вала дизеля промежуточным и карданным валом через редукторы.

На тепловозе ТЭП 60 используется гидростатический привод вентилятора холодильника. Привод от коленчатого вала к вентилятору на тепловозах М62, 2ТЭ10В осуществляется через гидродинамическую муфту переменного наполнения. Эти приводы имеют терморегуляторы, изменяющие частоту вращения вала вентилятора. Для поддержания постоянной температуры теплоносителя.

На тепловозах ТГМЗ, 2ТЭ109 применен электрический привод к вентиляторам холодильника – так называемые мотор – вентиляторы. Все современные тепловозы имеют системы автоматического регулирования температуры (САРТ) охлаждающих дизель-жидкостей.

Сжатый воздух на тепловозах используется для автотормозов, электропневматических контактов, вентиля механизма регулятора частоты вращения, привода жалюзи холодильника и т.п. Питает системы компрессор, который нагнетает воздух давлением 0,8 МПа в питательную магистраль.

Воздух, поступивший в систему автоматики, проходит через воздушные фильтры, электропневматические вентили стеклоочистителей, тиринов, воздушные цилиндры привода жалюзи холодильника и цилиндры включения муфты привода вентилятора. Для отсальных приборов автоматики давление воздуха снижается в клапане максимального давления до 0,45 – 0,53 МПа. К таким приборам и механизмам относятся: приводы реверсора, электропневматические клапаны регулятора частоты вращения, привод песочниц и др. Через электропневматический вентиль воздух подается к

вздухораспределителями и далее к форсунками, которые сжатым воздухом подают сок по трубам под колеса тепловоза.

### Контрольные вопросы:

1. Тепловозный дизель – это...
2. Тепловозный дизель состоит из...
3. «Мертвая» точка кривошипно-шатунного механизма – это такое его положение...
4. Что называется рабочим циклом дизеля?
5. Что такое такт?
6. Приведите отличия рабочего цикла от термодинамического
7. Поясните принципы действия тепловозного дизеля
8. Приведите признаки, по которым классифицируются дизели.
9. Расскажите о рабочем процессе четырехтактного дизеля
10. Расскажите о рабочем процессе двухтактного дизеля
11. Индикаторная диаграмма четырехтактного дизеля
12. Индикаторная диаграмма двухтактного дизеля
13. Приведите диаграмму фаз газораспределения четырехтактного дизеля
14. Приведите диаграмму фаз газораспределения двухтактного дизеля
15. Приведите основы технико – экономические показатели и дайте пояснения.
16. Приведите основные параметры тепловозных дизелей.
17. Четырехтактные тепловозные дизели и их конструктивные особенности.
18. Двухтактные тепловозные дизели и их конструктивные особенности.
19. Шатунно-кривошипный механизм тепловозного дизеля.
20. Газораспределительный механизм тепловозного дизеля.
21. Наддув дизелей и его особенности.
22. Приведите и поясните схему газотурбинного наддува.
23. Приведите и поясните схему комбинированного наддува.
24. Назначение и конструктивные особенности основной топливной системы тепловозного дизеля
25. Для чего предназначены регуляторы частоты вращения коленчатого вала и мощности дизеля
26. Назначение и принципы действия вспомогательной топливной системы дизеля
27. Назначение и принципы действия масляной системы дизеля.
28. Назначение и принципы действия водяной системы дизеля.
29. Назначение и принципы действия охлаждения дизеля
30. Приведите схему воздушно – радиаторной системы охлаждения воды и масла.
31. Приведите схему системы охлаждения с водомасляным теплообменником.
32. Назначение и устройство воздушной системы тепловоза

### Литература

1. Глаголев Н. М. и др. Тепловозные двигатели внутреннего сгорания и газовые турбины. – М.: Транспорт, 1973, 336с
2. Подвижной состав и тяга поездов. Под ред. В.В. Деева и Н.А. Фуфрянского. – М.: Транспорт, 1979, 368с.
3. Третьяков А.П. и др. Подвижной состав и тяговое хозяйство. – М.: Транспорт, 1971, 352с.

## **Лекция №5**

### **Устройство, классификация, основные параметры и характеристики вагонов**

#### **План лекции**

1. Классификация и основные части вагонов.
2. Основные параметры вагонов.
3. Устройство вагонов.
4. Силы, действующие на вагон и их динамические характеристики.
5. Автосцепное устройство вагонов.

#### **5.1. Классификация и основные части вагонов**

По своему назначению вагоны разделяются на две группы – это грузовые и пассажирские, которые характеризуются сложностью конструкции и большим многообразием типов.

Согласно классификации вагонного парка железных дорог к грузовым относятся вагоны крытые, полувагоны, платформы, цистерны, изотермические и специального назначения, а к пассажирским вагонам – вагоны дальнего следования, межобластного и пригородного сообщений, а также вагоны – рестораны, почтовые, багажные и специального назначения.

Пассажирские вагоны дальнего следования обеспечивают перевозку пассажиров на расстояния свыше 600 км. При перевозке пассажиров на более короткие расстояния используются вагоны межобластного сообщения, оборудованные креслами для сидения. В вагонах пригородного сообщения перевозят пассажиров на короткие расстояния. Вагоны – рестораны дают возможность организовать питание пассажиров в пути следования. Почтовые, багажные и почтово-багажные вагоны предназначены для перевозки почтовых отправлений и багажа пассажирской скоростью. К специальным пассажирским вагонам относятся: служебные, санитарные, вагоны-лаборатории, вагоны-клубы и другие.

Грузы перевозят в крытых вагонах, полувагонах, на платформах, в цистернах, изотермических вагонах и вагонах специального назначения – для грузов, требующих особых условий перевозки. К этой группе относят транспортеры для тяжеловесных и громоздких грузов, вагоны для

автомашин, цемента, скота, вагоны восстановительных и пожарных поездов и другие.

Независимо от назначения вагона в нем различают следующие основные элементы: ходовые части (тележки) 1, раму 2, кузов 3, автосцепное 4 и автотормозное оборудование 5 (рис 5.1).

Ходовые части нетележных вагонов имеют две колесные пары, четыре буксы с подшипниками качения или скольжения, пружины и рессоры, детали тормоза и детали, соединяющие ходовые части между собой, с рамой и кузовом вагона.

У тележных вагонов все перечисленные детали объединены при помощи рам и наддресорных балок в тележке. Тележки воспринимают и передают нагрузку от кузова на рельсы, обеспечивают плавное и безопасное движение вагона по рельсовому пути. При этом динамическое влияние неровностей пути на раму и кузов вагона снижается вдвое. Повышается надежность вагонов, облегчается вписывание в кривые участки пути.

Рама вагона жестка соединена с кузовом и работает в современных вагонах как единая цельнонесущая конструкция, состоящая из сваренных между собой продольных и поперечных балок. Рама непосредственно воспринимает от автосцепки ударно – тяговые усилия и вертикальную нагрузку от груза и тары вагона. На раме в консольной части расположены два автосцепных устройства, тормозное оборудование, а в пассажирских вагонах – электрооборудование, детали и узлы системы кондиционирования воздуха.

Автосцепные устройства имеет следующие узлы: корпус автосцепки двузубой формы с деталями механизма для сцепления вагонов между собой и локомотивом; ударно-центрирующий прибор для центрирования корпуса автосцепки вдоль оси вагона при сцеплении; упряжное устройство для смягчения действия ударно-тяговых усилий и передачи их на раму вагона; расцепной привод, расположенный на концевой балке рамы и соединенный с корпусом автосцепки, для расцепления вагонов.

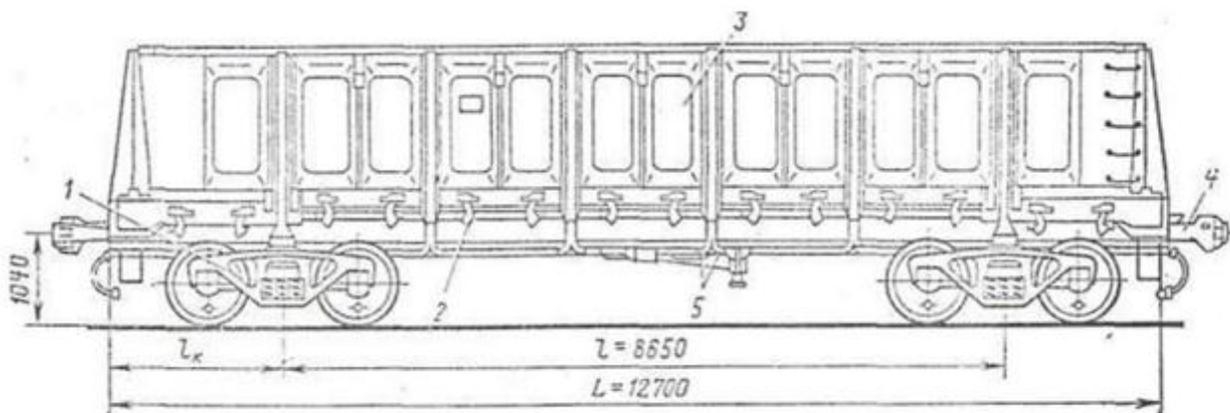


Рис. 5.1. Четырехосный цельнометаллический полувагон

Тормозное оборудование, расположенное на раме и тележках вагона, предназначено для остановки поезда и поддержания необходимой скорости и состоит из воздушной магистрали, проходящей по всей длине вагона, распределительного устройства, запасного резервуара, тормозного цилиндра, соединенного с распределителем, рычажной передачей, авторегулятором, башмаками и колодками.

Основной парк вагонов состоит из пассажирских цельнометаллических вагонов и грузовых вагонов повышенной грузоподъемности и вместимости, что достигнуто за счет повышенных нагрузок на ось (220 кН) и рационального использования допустимых погонных нагрузок. Улучшены прочностные и технико-экономические характеристики вагонов, строящихся по новым расчетным нормам на основе передовых достижений науки и техники. Появились восьмиосные полувагоны и цистерны, однако 98 % грузового парка СНГ - четырехосные вагоны.

Согласно комплексной программы развития и модернизации железнодорожной отрасли на 2011...2015 годы в состав инвентарного вагонного парка ГАЖК «Ўзбекистон темир йўллари» входит около двадцати тысяч единиц грузовых вагонов и более семисот единиц пассажирских вагонов.

## 5.2. Основные параметры вагонов

Технико-экономическая эффективность различных типов вагонов определяется капитальными затратами на строительство и техническое содержание их в эксплуатации, отнесенными на измеритель работы на каждом цикле эксплуатации (периоде между заводскими ремонтами) и за весь срок службы с учетом простоев в ремонте.

С наибольшей экономичностью эксплуатируются полувагоны, в которых перевозится около половины грузов железных дорог. Наибольшей универсальностью обладают крытые вагоны, так как в них перевозятся грузы широкой номенклатуры. Специальные грузовые вагоны, строящиеся для перевозки отдельных видов груза (цемент, сжиженные газы, кислота, битум, молоко и др.), обеспечивают наилучшее использование грузоподъемности, полную сохранность груза, максимальную механизацию при разгрузке и выгрузке вагона, минимальные затраты на измеритель работы и максимальный объем перевозок, выполняемый на отдельных циклах эксплуатации. Вместе с тем узкая специализация усложняет регулировочную работу вагонного парка на железных дорогах, повышает пробег в порожнем состоянии и уменьшает возможность замены одних типов вагонов другими. Дальнейшая специализация вагонов может успешно развиваться на отдельных замкнутых направлениях, где обеспечиваются равноценные потоки однородных грузов (уголь, руда). Стоимость нового вагона, эксплуатационные расходы на всех циклах эксплуатации и затраты на заводские ремонты за весь срок службы вагона, отнесенные к сумме тонны-километров, выполненных вагоном за весь амортизационный срок службы, определяют приведенные затраты на измеритель работы. Минимум этих затрат достигается на последнем периоде эксплуатации вагона в тот момент, когда расходы на техническое содержание и ремонты начинают расти. Это свидетельствует о потере прочностных качеств узлов и деталей вагонов и невозможности их полного восстановления.

Основные параметры вагона – это грузоподъемность, тара, коэффициент тары, удельный объем кузова, удельная площадь пола, длина, ширина, высота, база вагона, допускаемые нагрузки на ось и на погонный метр железнодорожного пути, число колесных пар у вагона. Существенное значение приобретает оценка вагона в эксплуатации по средней статической и динамической нагрузкам, учет влияния конструкции и состояния пути, а также совершенство механизмов, обеспечивающих погрузочно-разгрузочные операции.

Грузоподъемность вагона – есть максимальный вес груза, который в нем можно перевозить по условиям прочности и безопасности движения. Полное использование грузоподъемности обеспечивает наивысшую производительность вагона.

Тара – это вес самого вагона, необходимо для обеспечения прочности и надежности конструкция вагона. Отношение тары  $T$  к грузоподъемности

вагона  $Q$  называют техническим коэффициентом тары:  $K_T=T/Q$ . Этот коэффициент является технико-экономическим показателем. Чем меньше коэффициент тары, тем выгоднее вагон в эксплуатации. Использование проектной грузоподъемности вагона позволяет достигать наименьшего коэффициента тары. Если невозможно загрузить вагон до полной грузоподъемности, то вводится коэффициент использования грузоподъемности. В этом случае коэффициент тары называется погрузочным, т.е.

$$K_{\Pi} = \frac{T}{\lambda Q} \quad (5.1)$$

где  $\lambda$  - коэффициент использования грузоподъемности.

Неполная загрузка вагона в эксплуатации часто приводит к завышенному погрузочному коэффициенту тары. Перевозка различных грузов в универсальном вагоне приводит к необходимости вычисления среднего значения погрузочного коэффициента, что ведет к его завышению. Только рациональное использование кузова позволяет снизить погрузочный коэффициент тары.

Очень важно при определении коэффициента тары учитывать пробег вагона в груженном и порожнем состоянии. Для этого вводится понятие эксплуатационного коэффициента тары, т.е.

$$K_{\text{Э}} = \frac{T(1+\alpha)}{P_{\text{д}}} \quad (5.2)$$

где  $\alpha$  – коэффициент, характеризующий отношение порожнего

пробега к общему пробегу вагона;

$P_{\text{д}}$  - средняя динамическая нагрузка вагона, получаемая делением

тонно-километров на вагоно-километры.

Снижение эксплуатационного коэффициента достигается не только повышением коэффициента использования грузоподъемности, но и сокращением порожнего пробега. При этом коэффициенты весьма мало разнятся между собой и сохраняется неравенство  $K_{\text{Э}} > K_{\Pi} > K_T$ .

Экономическая эффективность пассажирских вагонов определяется отношением тары вагона к числу мест и выражается зависимостью

$$K_{\text{ТП}} = \frac{T_{\text{п}}}{n} \quad (5.3)$$

где  $K_{\text{ТП}}$  – коэффициент тары пассажирского вагона;

$T_{\text{п}}$  – тара вагона;

$n$  – число мест в вагоне.

Конструктивные качества и форма вагона оцениваются также удельным объемом кузова и удельной площадью платформы. В первом случае – это отношение объема кузова к грузоподъемности, во втором – отношение площади платформы к ее грузоподъемности. Длина вагона, как один из важных размеров, определяется заданной грузоподъемностью и допускаемой и нагрузкой на погонный метр пути, а также размещением специальных грузов или пассажиров.

В общем случае длина вагона по раме

$$L_{\text{р}} = \frac{V_{\text{у}}Q}{F_{\text{габ}}} + 2c \geq \frac{Q(1+K_{\text{Т}})}{q} - 2a \quad (5.4)$$

где  $L_{\text{р}}$  – длина вагона по раме, м;

$V_{\text{у}}$  – удельный объем вагона, м<sup>3</sup>/кН;

$F_{\text{габ}}$  – ориентировочная площадь габарита, которая может быть использована для размещения заданной грузоподъемности, м<sup>2</sup>;

$c$  – толщина торцевой стенки, м;

$Q$  – грузоподъемность вагона, кН;

$q$  – допускаемая нагрузка на погонный метр пути, кН/м;

$a$  – вылет автосцепки, т.е. расстояние от оси зацепления автосцепок до рамы вагона, м.

Как видно из этой зависимости, длина вагона является функцией удельного объема, грузоподъемности, площади габарита, отводимого для

размещения груза и объема кузова. Эта величина не должна также превосходить длину, определяемую по допусковой нагрузке на железнодорожный путь.

Базой вагона  $l$  называется расстояние между шкворнями тележек или расстояние между крайними осями колесных пар у нетележечных вагонов. База зависит от длины консольной части вагона и определяется следующими условиями:

а) рациональным размещением упряжного устройства автосцепки, при котором задние упоры объединены с пятниковым узлом рамы. В этом случае длина консоли  $l_k = 1,5 \dots 1,6$  м;

б) смещениями конца вагона  $E_n$  и середины  $E_v$  при вписывании в кривые с использованием оптимальной ширины заданного габарита, когда эти смещения равны между собой;

в) равенством опорного и среднего изгибающих моментов, когда кузов вагона рассматривается как двухконсольная балка с равномерно распределенной нагрузкой;

г) перекрытием кузовом ходовых частей. Найдя консольную часть  $l_k$ , с учетом перечисленных условий вычисляют базу вагона  $l$ . Только зная длину и базу вагона, находят его ширину и высоту при вписывании в заданный габарит.

### **5.3. Устройство вагонов**

Рассмотрим конструктивные особенности вагонов исходя из их основных частей, общих для всех типов вагонов.

В современных вагонах базовой составляющей являются тележки, которые нашли широкое применение при создании грузовых вагонов большой грузоподъемности и длине базы, а также пассажирских вагонов большой длины и вместимости. Тележки вагонов обеспечивают плавность хода и вписывание в кривые участка пути с малым сопротивлением движению, так как они свободно вращаются относительно вертикальных осей, перпендикулярных плоскостей рамы вагона и надрессорных балок. Влияние неровности пути на подрессоренные ходовые части и кузов у вагона на тележках в два раза меньше, чем у нетележечного вагона (без учета смягчающего действия рессорного подвешивания).

Тележка вагонов различается по назначению, числу колесных пар, способу передачи нагрузки от кузова на элементы тележек, конструкции рамы и рессорному подвешиванию. В четырехосных тележках, хотя и сохраняется конструкция двухосных тележек, однако вес их при наличии соединительных балок оказывается больше веса рамы и кузова полувагона в целом примерно на 30%. Передача нагрузки от кузова на тележки через пятниковые узлы надрессорных балок дает возможность вагону свободно проходить кривые участки пути, хотя одна сторона скользунов тележек вследствие действия центробежной силы частично воспринимает вертикальные силы, затрудняющие поворот тележек. Пассажирские тележки КВЗ – ЦНИИ, воспринимающие нагрузку от кузова через скользуны шкворневых и надрессорных блок, обеспечивают их нагрузку и гашение колебаний влияния и боковой качки при извилистом движении.

Большинство тележек грузовых вагонов имеет одинарное рессорное подвешивание. К ним относятся все наши отечественные двухосные, трехосные и четырехосные тележки и почти все конструкции тележек зарубежных железных дорог. В пассажирских тележках преимущественное распространение получило двойное рессорное подвешивание. Тройное и четырехкратное подвешивание рессор и пружины является более сложным, вызывающим дополнительные высокочастотные колебания. Вот почему двойное рессорное подвешивание дает более плавный ход вагона и является конструктивно более рациональным.

Тележки ЦНИИ-ХЗ-О подкатывают под грузовые вагоны. Тележка имеет две боковые рамы с пружинными комплектами и клиновыми гасителями колебаний, две колесные пары с буксами, надрессорную балку с подпятником и скользунами, тормозное оборудование с односторонним нажатием колодок на колесо, авторежимное устройство и предохранительные приспособления. Вес тележки 48500 кН. Статический прогиб пружин 48...50 мм, коэффициент относительного трения, равный отношению работы сил трения фрикционных гасителей колебаний к упругой работе пружин за один цикл их сжатия и восстановления под действием нагрузки кузова и надрессорной балки -0,07...0,08. Боковое рамное усилие составляет 35...50 кН, база тележки 1850 мм.

Тележка КВЗ-ЦНИИ пассажирского вагона состоит из двух колесных пар с роликовыми (бесчелюстными) буксами, на которые через надбуксовые пружины с фрикционными гасителями колебания опирается рама Н – образной формы. На раме размещены тормозное оборудование,

предохранительные скобы и центральное люлечное подвешивание – это надрессорная балка с подпятником и скользящими, четыре комплекта трехрядных пружин с гидравлическими гасителями колебаний, две люлечные балки и четыре люлечные подвески, укрепленные на боковых балках тележки. Поводковое устройство, соединяющее продольную балку рамы тележки с концами надрессорной балки, противодействует моменту сил трения, возникающих на скользящих, предупреждает перекося надрессорной балки, уменьшает виляния и поперечную качку вагона.

Следует отметить, что по плавности хода, величине вертикальных перемещений и конструкции тележка КВЗ-ЦНИИ оказались одной из лучших и поэтому получила наибольшее распространение.

Колесная пара представляет собой ось, на подступичные части которой насажены два колеса. Ось колесной пары имеет шейки для установки подшипников и букс, предподступичную и подступичные части, а также среднюю часть. Для закрепления подшипников качения на концах шеек оси выполнены резьба и пазы под гайки и стопорные планки. С целью ограничения перемещения подшипников скольжения шейки оси заканчиваются бортиками.

В эксплуатации используют четыре типа осей которые различаются размерами шеек, диаметрами подступичных частей, конструкцией шейки в зависимости от применяемого подшипника и допускаемой нагрузки.

Тележки имеют оси с цельнокатаными колесами. Колеса на ось напрессовывают гидравлическим прессом. При этом надежность и прочность упругого прессового соединения обеспечиваются высокой точностью обработки, установленным натягом (0,1...0,25 мм), площадью соприкасающихся поверхностей и усилием в конце запрессовки, которое определяется по диаграмме напрессовки.

Ось колесной пары проверяют на прочность и при расчете ее рассматривают как двухконсольную балку на двух опорах-колесах при неблагоприятном сочетании всех действующих на ось нагрузок, а именно: статической, составляющей 0,25 веса брутто вагона; динамической, равной произведению веса брутто вагона на коэффициент динамики; силы ветра и центробежной силы, учитывая взаимодействие колес с рельсами; силы торможения, к которой относят силы инерции и нажатия колодок на колеса.

Для передачи нагрузки от кузова вагона и тележек на оси колесных пар применяют буксы с подшипниками скольжения и качения (оборудованы все

современные вагоны). Букса с подшипниками качения (рис.5.2) имеет стальной корпус 1 с утолщенной верхней частью и ребрами жесткости 2, два подшипника качения 3, лабиринтное уплотнение 4, торцовое бортовое кольцо 5 для передачи осевых сил на шейку, корончатую гайку 6 со стопорной планкой, закрепительную и смотровую крышку 7. Подшипник качения состоит из наружного и внутреннего колец, роликов и сепаратора для равномерного размещения их по окружности. Бесчелюстной корпус буксы пассажирских вагонов имеет кронштейны, опорные поверхности которых установлены ниже центра вращения колеса, что обеспечивает устойчивое равновесие при передаче нагрузки на ролики и шейку оси, уменьшает износы шпинтонов в направляющих. Челюстные буксы грузовых вагонов взаимодействуют с направляющими поверхностями боковых рам при передаче вертикальных и горизонтальных нагрузок от кузова и тележек вагона.

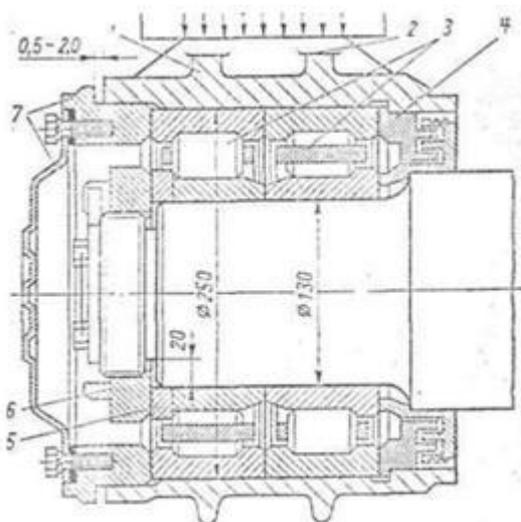


Рис. 5.2. Букса с подшипниками качения



Рис. 5.3. Букса с подшипниками скольжения

Букса с подшипником скольжения (рис.5.3) также имеет стальной корпус 1 с отверстиями для крышки 6 и уплотняющей шайбой 5, вкладыш 3, подшипник 2 и смазывающее устройство 4. Заливаемая в нижнюю часть корпуса буксы смазка подается на трущиеся поверхности шейки и подшипника специальным устройством – польстером 4 или ворсистыми валиками. Более экономичные буксы с роликовыми подшипниками, которые исключают отцепку по грению, снижают удельную сопротивление движению вагона, сокращают работы по обслуживанию букс в эксплуатации.

Рессоры и пружины смягчают действие неровности путей и гасят опасные амплитуды колебаний вагона. Система рессор и пружин образует рессорное подвешивание и должно обеспечивать устойчивость вагона при колебаниях.

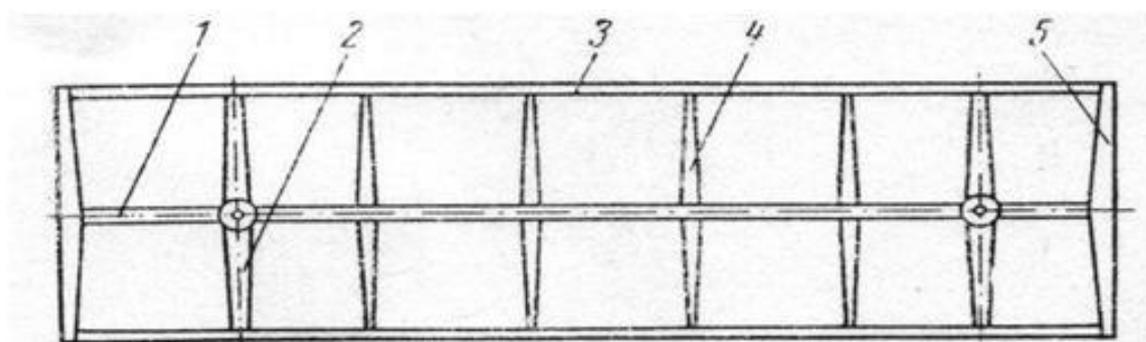
В рессорном подвешивании подвижного состава преимущественно применяются цилиндрические пружины с круглым сечением прутка, как наиболее легкие упругие элементы, в основном испытывающие деформации кручения и среза, в сочетании с фрикционными гасителями колебаний. Листовые и эллиптические рессоры, состоящие из упругих взаимно трущихся прямоугольных пластин, являются более тяжелыми элементами, работающими на деформации изгиба, при одинаковой жесткости с пружинами. Подбирают рессоры и пружины по статической нагрузке, умножаемой на коэффициент конструктивного запаса (для грузовых вагонов не менее 1,9 и для пассажирских не менее 1,7).

Рессорное подвешивание из пружин неразрывно связано с применением фрикционных, клиновых или гидравлических гасителей колебаний. В тележках грузовых вагонов применяются клиновые гасители колебаний, которые взаимодействуют с наклонными поверхностями надрессорной балки и стойками боковой рамы при изменении нагрузки на рессорное подвешивание. При этом достигается необходимый коэффициент относительного трения, характеризующийся отношением работы сил трения к упругой работе рессорного комплекта. Боковые перемещения надрессорной балки амортизируются горизонтальной упругостью пружин рессорного подвешивания.

В центральном подвешивании пассажирских тележек широко применяются гидравлические гасители колебаний, которые имеют телескопическую поршневую конструкцию. Вязкая жидкость в гидравлическом цилиндре при помощи поршня перемещается через узкие каналы и клапаны одностороннего действия, обеспечивая необходимое трение, в результате которого механическая энергия колебательного движения кузова вагона превращается в тепловую и постепенно рассеивается.

Рама является основанием кузова и несет все виды вертикальных и продольных нагрузок, действующих на вагон. Рама соединена прочно с кузовом или котлом цистерны. На раме размещено автосцепное и автотормозное оборудование вагона. У пассажирских и специальных грузовых вагонов к раме крепят различное вспомогательное оборудование – кондиционирования воздуха, системы освещения и отопления. Рамы вагонов можно разделить на тележечные и нетележечные в зависимости от способа передачи нагрузки и конструкции ходовых частей. Рама тележечного вагона (рис.5.4) имеет следующие взаимосвязанные балки: хребтовую 1, по концом которой крепится упряжное устройство автосцепки; шкворневые 2 с

пятниками и скользунами для передачи нагрузки на тележки; боковые продольные 3, поперечные 4, устанавливаемые в зависимости от длины рамы и концевые 5 для размещения на них центрирующих приборов, корпусов, автосцепок с механизмами и расцепных приводов. Рама нетележечного вагона не имеют шкворневых балок и передает вертикальную нагрузку от кузова боковыми балками через кронштейны на рессоры, буксы и колесные пары. Остальные балки имеют назначение, аналогичное балкам тележечной рамы вагона.



**Рис. 5.4** Рама четырехосного вагона:  
 1 — хребтовая; 2 — шкворневая; 3 — боковая; 4 — поперечная; 5 — концевая;

Кузова вагонов по конструкции могут быть цельнонесущие, с несущими боковыми стенами (полувагоны, крытые и изотермические вагоны) и со свободно несущей рамой (крытый, двухосный, 20-тонный вагон). Кузов и рама современных пассажирских и грузовых вагонов образуют единую цельнонесущую конструкцию, которая воспринимает все виды действующих на вагон усилий. Это позволяет элементы рамы и кузова выполнить из тонкостенных профилей замкнутого сечения.

#### **5.4. Силы, действующие на вагон и их динамические характеристики**

В течение всего перевозочного процесса (от момента загрузки и до момента разгрузки) вагон подвергается различным силовым воздействиям — это статические и динамические нагрузки, а также силы ветра, центробежные и тормозные. Рассмотрим некоторые из этих сил.

После загрузки на вагон действует статическая нагрузка

$$P_{ст} = Q + T,$$

где  $Q$  — грузоподъемность, кН;

$T$  — тара вагона, кН.

При движении вагон испытывает дополнительно динамические силы в результате взаимодействия с рельсами, переменные тяговые усилия, силу ветра и другие. Вертикальная нагрузка действует на все части вагона, т.е.

при скорости до 100 км/ч

$$P_d = \left( \alpha + \frac{cv}{f} \right) P_{ст} = k_d P_{ст};$$

При скорости свыше 100 км/ч

$$P_d = \left( \alpha + \frac{c(v - 15,3)}{f} \right) P_{ст} = k_d P_{ст},$$

где  $k_d$  – коэффициент динамики (выражение в скобках);

$\alpha$  – коэффициент, применяемый для неподрессорных частей

тележки 0,15, для обрессоренных частей тележки 0,1, для частей

кузова 0,05;

$v$  - скорость, м/с;

$f$  - статический прогиб рессорного подвешивания от нагрузки

брутто вагона, мм.

Величина  $c$  для различных тележек имеет следующие значения: при скорости до 28 м/с для двухосных –  $3,7 \cdot 10^{-4}$ ; для трехосных –  $3,1 \cdot 10^{-4}$ ; для четырехосных –  $2,1 \cdot 10^{-4}$ ; свыше 28 м/с – соответственно  $7,9 \cdot 10^{-4}$ ;  $6,6 \cdot 10^{-4}$ ;  $5,93 \cdot 10^{-4}$ .

Центробежная сила

$$P_y = \frac{P_{бр} v^2}{gR}$$

где  $P_{бр}$  - вес брутто вагона, Н;

$g$  - ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;

$R$  - радиус кривой, м.

Эта сила приложена в центре тяжести вагона. Горизонтальные и вертикальные составляющие ее определяют из условия равновесия системы. Равнодействующая силы ветра приложена в центре боковой поверхности кузова, которая равна

$$P_v = q_v S,$$

где  $q_v$  – удельное давление ветра ( $500 \text{ Н/м}^2$ );

$S$  – площадь боковой проекции кузова,  $\text{м}^2$ .

Центробежная сила и равнодействующая силы ветра учитываются не только для обеспечения прочности, но и устойчивости вагона. Сила инерции, возникающая при торможении, приложена в центре тяжести вагона, т.е.

$$P_i = jm$$

где  $j$  – ускорение вагона,  $\text{м/с}^2$ ;

$m$  – масса вагона кг.

Максимальное значение силы инерции возникает в момент остановки и равно сумме сил сцепления между колесами и рельсами. Сила инерции, кроме горизонтального действия, дает вертикальные составляющие на тележки и ее элементы. Силы торможения, возникающие от взаимодействия между колесами и колодкой, дополнительно нагружают оси колесных пар. В момент остановки  $P_i = \Psi P_{бр}$ , где  $\Psi$  – коэффициент сцепления между колесом и рельсом, равный 0,2. Равнодействующую от силы нажатия колодок на колесо определяют из расчета максимального усилия на штоке поршня тормозного цилиндра при коэффициенте полезного действия рычажной передачи, равном единице. Продольные силы, действующие на вагон, возникают между вагонами и локомотивами. В соответствии с нормами расчета вагонов на прочность установлены три расчетных режима.

Первый режим – для расчета вагонов на действие продольной нагрузки, равной 2500 кН. Для пассажирских вагонов эта нагрузка принимается сжимающей, для грузовых – как сжимающей, так и растягивающей (при трогании поезда с места). За весь амортизационный срок службы вагона в эксплуатации такие усилия могут встречаться примерно 500...1500 раз. При этом режиме учитывается также вертикальная статическая нагрузка.

Второй режим – установлен дополнительно для расчета только пассажирских вагонов, предполагая их движение в грузовом поезде.

Продольная растягивающая сила равна 1500 кН и может повторяться за весь амортизационный срок службы грузового вагона до 150 000 раз. Для пассажирского вагона эта повторяемость будет значительно меньшей вследствие малой вероятности его постановки в грузовой поезд. При этом учитывается вертикальная нагрузка – тара вагона и динамическая сила при скорости движения  $v = 14 \text{ м/с}$ , что соответствует движению грузового поезда со скоростью 50 км/ч.

Третий режим – соответствует эксплуатационным условиям движения грузовых и пассажирских вагонов с максимальной скоростью при действии как растягивающей, так и сжимающей продольных сил величиной 1000 кН. За весь амортизационный срок службы вагона эта сила может повторяться 300 тысяч раз. Одновременно учитываются вертикальная динамическая и статическая силы, а также вертикальная составляющая боковой нагрузки. Горизонтальные силы взаимодействия между колесом и рельсом учитываются при расчете колесных пар на прочность с учетом установки тележки в кривой в промежуточное положение.

В вагоностроении широкое применение нашли износостойкие и коррозионностойкие материалы. Вагоны и их детали изготавливают из углеродистых и низколегированных сталей марок Ст3, 09Г2Д, алюминиевых сплавов, полимерных материалов, древесных плит. Для деталей вагонов, подвергающихся ударным нагрузкам, применяются стали, обладающие высокой ударной вязкостью и пластичностью при низких температурах. Эти материалы обеспечивают снижение веса тары и удовлетворяют условиям технологичности конструкции вагона при изготовлении и ремонте: гибка, штамповка, правка элементов и выполнение сварных соединений. Для дальнейшего снижения веса тары вагона целесообразно применение алюминиевых сплавов, удельный вес которых в три раза меньше, чем у стали, а механические характеристики достаточно высоки и не меняются с понижением температуры. Толщина панели из алюминиевого сплава по условиям равнопрочности составляет 1,45 стальной, что приводит к снижению веса элемента примерно на 50%. Целесообразно также применение полимерных материалов и в них слоистых и волокнистых наполнителей, обеспечивающих высокие механические прочностные характеристики. Использование полимеров ограничивается внутренним оборудованием и отделкой вагона. Это объясняется низким значением модуля упругости пластических масс, которые требуют проведения специальных конструктивных мероприятий для придания необходимой жесткости элементам.

Для установления динамических характеристик и определения условий устойчивого и безопасного движения вагонов, а также с целью подбора рациональных параметров рессорного подвешивания и поглощающих устройств автосцепки рассмотрим „поведение” вагона в пространственной системе координат  $x-y-z$ .

Сложный процесс колебаний вагона, имеющего рессорное подвешивание и поглощающие устройства, рассматривается в пространственной системе координат как колебание механической системы со многими степенями свободы. Характер таких колебаний существенно влияет на прочность ходовых частей, кузова и других важных узлов, а также на плавность и устойчивость вагона при движении по неровностям пути.

В качестве примера рассмотрим движущийся вагон, кузов которого опирается на одинарное рессорное подвешивание, имеющий шесть степеней свободы. Выбирая оси координат в соответствии с этими степенями свободы, можно представить следующие главные виды колебаний: подпрыгивание – одинаковые перемещения всех точек кузова (вверх и вниз) по оси  $Z - Z$ ; поперечный относ – боковые параллельные перемещения кузова вдоль оси  $Y - Y$ ; подергивание – перемещения кузова вдоль оси  $X - X$ . Все перечисленные колебания вагона совершаются поступательно. Вращательные колебания характеризуются: галопированием – вращением обрессоренных частей кузова относительно оси  $Y - Y$  на угол  $\theta$ ; боковой качкой – вращением обрессоренных частей кузова относительно оси  $X-X$  на угол  $\beta$ ; вилянием – вращением обрессоренных частей кузова относительно оси  $Z - Z$  на угол  $\varphi$ .

Все виды главных колебаний могут проявляться в отдельности и совместно. Причиной их возникновения являются неровности пути, неуравновешенность движущихся масс локомотива, резкое изменение силы тяги, внезапное торможение, коническая поверхность катания колес и извилистое движение колесной пары, действие боковых сил. Динамические показатели главных колебаний вагона характеризуются коэффициентами динамики и критическими скоростями. Статический прогиб рессорного подвешивания, коэффициент относительного трения и обрессоренные массы вагона оказывают существенное влияние на колебательный процесс. Периоды собственных колебаний вагона могут совпадать с периодами возникновения возмущающих сил, которые появляются на стыках железнодорожных путей и зависят от длины рельса.

Совпадение периодов собственных колебаний вагона с периодами проявления возмущающих сил называется явлением резонанса и характеризуется большими амплитудами либо чрезмерно большими силами при наличии устройств, ограничивающих величину амплитуд колебаний. Такое явление может возникать при определенной величине критической скорости, вызывая повышенный износ, поломки деталей вагона, расстройство пути, угрожая безопасности движения. Резонанс можно предотвратить гашением опасных амплитуд различных видов колебаний за счет трения деталей элементов гидравлического сопротивления в рессорном подвешивании тележек. В связи с этим широкое распространение получают фрикционные и гидравлические гасители колебаний, рессоры и пакеты тарельчатых пружин.

### **5.5. Автосцепное устройство вагонов**

Автосцепное устройство обеспечивает сцепление и расцепление вагонов, удержание их на определенном расстоянии и передачу продольных ударно-тяговых усилий от локомотива, а также при проходе сортировочных горок. Каждый вагон оборудован двумя комплектами автосцепных устройств, расположенных в консольных частях рам вагонов. Автосцепное устройство (рис.5.5) имеет: корпус 1 автосцепки с механизмом для сцепления и расцепления вагонов и передачи продольных сил, ударно-центрирующий прибор 2 для установки корпуса в центральное положение; расцепной привод 3 для расцепления вагонов; упряжное устройство 4 с поглощающим аппаратом 5 для смягчения передачи на раму ударно-тяговых усилий. Автосцепки, не допускающие вертикальных и горизонтальных перемещений корпусов, относятся к жесткому типу. Необходимое перемещение в этом случае происходит за счет шарниров, соединяющих хвостовики корпуса с упряжным устройством каждой автосцепки (вагоны метро). Автосцепки, допускающие взаимные вертикальные перемещения в контуре зацепления, относятся к нежесткому типу. Такими автосцепками (СА-3) оборудованы все отечественные вагоны. Механизм автосцепки расположен в головной пустотелой части корпуса, а полый хвостовик корпуса имеет на конце цилиндрическую опорную поверхность и отверстие для клина или валика тягового хомута.

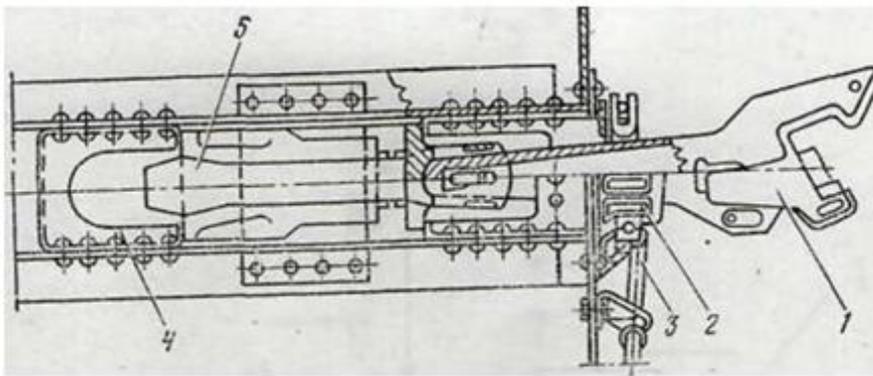


Рис. 5,5. Автосцепное устройство:  
 1 — корпус; 2 — ударно центрирующий прибор; 3 — расцепной привод; 4 — упругое устройство; 5 — поглощающий аппарат

Процесс сцепления автосцепок происходит при прямом и косом ударах. В первом случае соударяются замки и малые зубья нажимают на лапы замкодержателя. Малые зубья устанавливаются в крайнее положение в зеве корпуса автосцепки. Замки вначале прикатываются внутрь корпуса, а затем под действием собственного веса возвращаются на место их установки, занимая все свободное пространство в зеве сцепленных автосцепок и препятствуя их расцеплению. Надежно действующие предохранители, т.е. взаимодействие торцов верхних плеч предохранителей с опорными частями противовесов замкодержателей, должны предупреждать перемещение замков внутрь корпуса и возможность расцепления автосцепок. Во втором случае происходит скольжение зубьев по скошенным поверхностям, затем процесс сцепления и взаимодействие деталей повторяется, как и в первом случае.

Расцепной привод состоит из двухплечевого рычага, цепи, кронштейна и державки. Крепится он на концевом брусе рамы болтами и служит для расцепления автосцепок и выключения механизма при подталкивании без сцепления. Сектор валика подъемника соединен цепью с двухплечим рычагом.

Для расцепления автосцепок рукоятку двухплечевого рычага перемещают из вертикального положения в крайнее с последующим возвращением в исходное положение. При этом вращается валик с подъемником, широкой палец которого выключает предохранитель от саморасцепа и перемещает замок в положение расцепления. Узкий палец подъемника проскальзывает расцепной угол замкодержателя за счет овального отверстия, опираясь в его вертикальную поверхность и удерживает замок в расцепном положении до разведения вагонов.

Ударно — центрирующий прибор служит для центрирования корпуса автосцепки при передаче ударно — тяговых усилий на поглощающий аппарат и раму вагона и состоит из стальной розетки, двух маятниковых подвесок и центрирующей балочки. Упругое устройство с поглощающим аппаратом

смягчает действие продольных усилий и передает их плавно через упорные угольники на хребтовую балку рамы вагона. Поглощающий аппарат с упорной плитой установлен между горизонтальными полосами тягового хомута по вертикали и между передними и объединенными задними угольниками по горизонтали. Передние угольники отлиты заодно с розеткой автосцепки.

Применяются фрикционные и резиновые поглощающие аппараты. Грузовые вагоны оборудованы шестигранными термообработанными фрикционными аппаратами Ш-1-Т<sup>М</sup>. Энергоемкость таких аппаратов достигает ~40 кНм. На пассажирских вагонах эксплуатируются аппараты пружинно – фрикционного типа ЦНИИ-Н-6 энергоемкостью ~16 кНм, подобные аппарату Ш-1- Т<sup>М</sup>, но имеющие дополнительную пружинную часть с корпусом.

Аппарат из резинометаллических элементов имеет направляющий корпус, пакет стальных и резиновых элементов, нажимной конус, обеспечивающий вместе с упорной плитой передачу ударно-тяговых усилий на хребтовую балку рамы вагона и планку, предохраняющую пакет упругих элементов от выпучивания. Энергоемкость аппарата достигает ~35 кНм.

Оценка основных качеств поглощающих аппаратов производится следующими показателями:

1. Энергоемкостью – количеством кинетической энергии, воспринимаемой аппаратом за максимальный ход при его ударном сжатии и восстановлении. Энергоемкость определяется произведением максимальной силы, при которой закрывается аппарат, на путь – полный ход аппарата при полноте диаграммы 0,4...0,5.
2. Силовой характеристикой, представленной в виде диаграммы, выражающей зависимость между нагрузкой и ходом аппарата в процессе сжатия и его восстановления.
3. Энергией удара, необратимо поглощаемой аппаратом. По нормам проектирования аппаратов должно поглощаться не менее 75% энергии удара.
4. Стабильностью работы аппарата, которая определяется коэффициентами неустойчивости либо равноценными диаграммами при одинаковых скоростях и массах соударяющихся вагонов.
5. Надежностью в работе и простотой конструкции.

Все пассажирские вагоны оборудованы дополнительно к автосцепному устройству упругими площадками и буферами. Это дает

возможность еще больше смягчить действие продольных усилий, держать автосцепки в натянутом положении (буфера выходят на 65 мм за линию зацепления автосцепок), уменьшить боковые колебания пассажирских вагонов и обеспечить плавность движения поезда.

Замкнутая металлическая рамка, соединенная в верхней части с хомутом листовой рессоры, шарнирно-опирающейся на швеллеры торцевой стены кузова, а внизу – со стержнями буферов и образует упругую площадку. В нижней части этой площадки расположен переходный мостик, а по бокам гармоника. Упругая площадка из резины обеспечивает хорошую плотность соединения и поглощает шум благодаря применению звукоизоляционного материала. Сверху и по бокам дверного проема торцевой стены установлена металлическая рамка П-образной формы, к которой прикреплены болтами резиновые баллоны, а буфера и мостик остались такими же, как и в предыдущем варианте.

### **Контрольные вопросы**

1. Назначение и классификация вагонов.
2. Перечислите основные части грузовых и пассажирских вагонов.
3. Расскажите о структуре вагонного парка ГАЖК „ Ўзбекистон темир йўллари ”.
4. Приведите основные параметры вагонов.
5. Дайте пояснения по основным параметрам вагонов.
6. Назначение и классификация тележек.
7. Конструктивные особенности тележек вагонов.
8. Назначение и конструктивные особенности колесных пар вагонов.
9. Буксы, их назначение и конструктивные особенности.
10. Назначение и конструктивные особенности рессорного подвешивания вагонов.
11. Рамы и кузова вагонов, их назначения и конструктивные особенности.
12. Каким силовым воздействиям подвергаются вагоны в процессе эксплуатации.
13. Перечислите главные виды колебаний вагонов и дайте необходимые пояснения.
14. Чем характеризуются динамические показатели главных колебаний вагона.
15. Явление резонанса и причины его возникновения.
16. Назначение и конструктивные особенности автосцепного устройства вагонов.

## Литература

1. Подвижной состав и тяга поездов. Под ред. В. В. Деева и Н. А. Фуфрянского. – М.: Транспорт, 1979, 368 с.
2. Подвижной состав и тяговое хозяйство. Под ред. А. П. Третьякова. – М.: Транспорт, 1971, 352 с.

## Лекция № 6

### Автоматические тормоза подвижного состава

#### План лекции

1. Назначение автоматических тормозов, виды и режимы торможения.
2. Принцип действия пневматических тормозов.
3. Тормозная система поезда.
4. Тормозные рычажные передачи подвижного состава.
5. Тормозное оборудование и его конструктивные особенности.
6. Электропневматические тормоза.
7. Дисковые и электромагнитные рельсовые тормоза.
8. Противоюзные устройства.

#### **6.1. Назначение автоматических тормозов, виды и режимы торможения.**

Автоматические тормоза предназначены для регулирования скорости движения и остановки поездов. Автоматическими их называют потому, что при быстром снижении давления сжатого воздуха в тормозной магистрали они автоматически приходят в действие. Снижение давления воздуха происходит при помощи крана машиниста, в случаях торможения стоп-краном и самопроизвольного расцепления автосцепки.

На подвижном составе железных дорог СНГ получили распространение два вида торможения: фрикционное - при нажатии тормозных колодок на колеса или тормозных накладок на специальные диски, а также электромагнитных башмаков на рельсы и электрическое – при преобразовании кинетической энергии движения поездов в электрическую тяговыми электродвигателями, работающими в генераторном режиме. Основным видом торможения – фрикционный.

В условиях эксплуатации подвижного состава различают следующие режимы торможения: экстренное, полное служебное, служебное и регулировочное.

Автоматические тормоза разделяются на пневматические и электропневматические. Применение электропневматических тормозов позволяет сократить длину тормозного пути, обеспечить плавное ведение поезда, повысить место неистощимость действия. При электрическом торможении не изнашиваются тормозные колодки и бандажи, не нагреваются поверхности катания колес или тормозных дисков от трения колодок.

## **6.2. Принцип действия пневматических тормозов**

Для описания процесса торможения поезда приведем принципиальную схему расположения приборов и устройств пневматического тормоза на примере тепловоза ТЭЗ, которая показана на рис. 6.1, где обозначено: 1 – уравнительный резервуар (20 л); 2 – трехходовой кран усл.№ 9-195; 3 – кран машиниста усл.№ 394; 4 – блокировка тормозов усл.№ 367; 5 – кран усл.№254; 6 – усл.№ ЭПК-150; 7 – резервуар (5л); 8 – предохранительный клапан усл.№ Э-216; 9 – главный резервуар (209л); 10 – компрессор; 11 – регулятор давления усл.№ ЗРД; 12 – главный резервуар (250л); 13 – воздухоочиститель усл.№ Э-120; 14 – запасной резервуар (78л); 15 – воздухораспределитель усл.№ 270-002; 16 – магистраль вспомогательного тормоза; 17 – тормозной цилиндр усл.№ 507Б; 18 – тормозная магистраль; 19 – питательная магистраль.

Сжатый воздух, нагнетаемый компрессором 10, подается в четыре главных резервуара 9 и 12, соединенных последовательно между собой трубами. Компрессор и нагнетательная труба оборудованы предохранительными клапанами 8.

Из главного резервуара воздух поступает через воздухоочиститель 13 к крану машиниста 3, который вместе с уравнительным резервуаром 1 и манометрами расположен в кабине машиниста. Регулятор давления 11 автоматически сообщает цилиндры компрессора с атмосферой, если давление воздуха в главных резервуарах достигает 0,85 МПа.

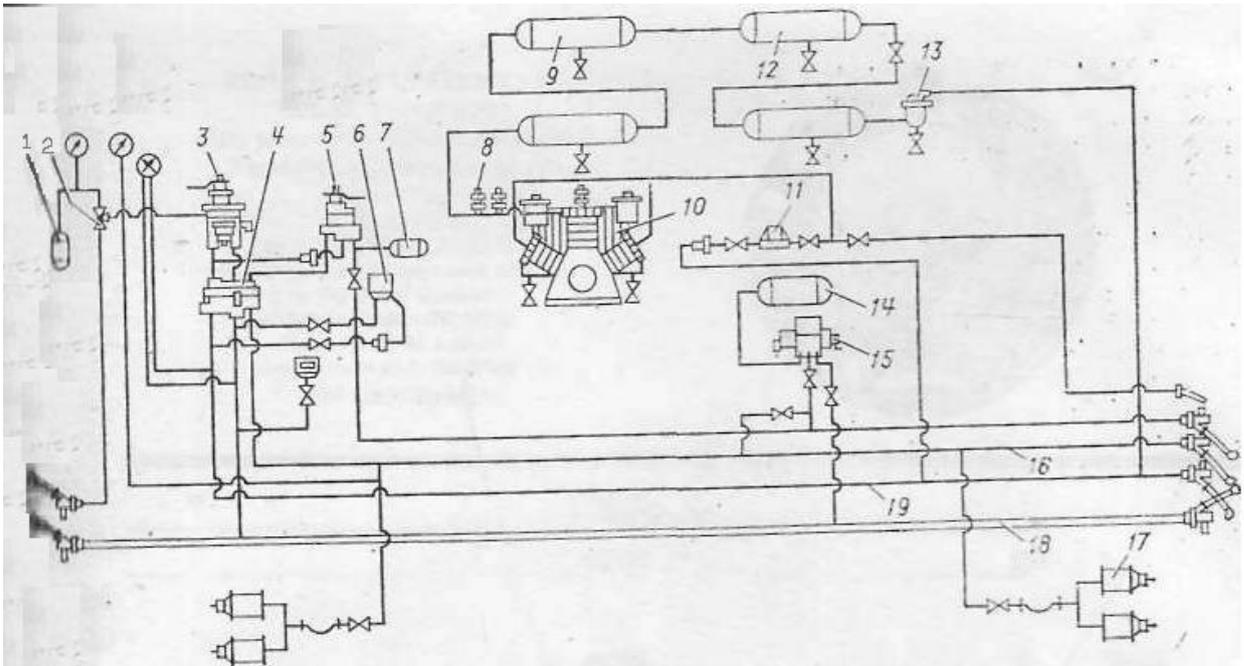


Рис.6.1. Схема расположения устройств пневматического тормоза на тепловозе ТЭЗ

На локомотивах для их автономного торможения применяется кран 5 вспомогательного тормоза с дополнительным резервуаром 7. К крану 5 воздух подходит из главного резервуара через фильтр. От крана машиниста воздух подводится к тормозной магистрали 18. Магистрали между секциями локомотива, а также между вагонами соединяются при помощи концевых кранов и резиновых рукавов с головками. Концевые краны служат для перекрытия поездной воздушной магистрали. Магистраль заряжается воздухом из главных резервуаров через кран машиниста до давления 0,53...0,55МПа в грузовом поезде и до 0,5...0,52МПа в пассажирском.

При торможении поезда снижается давление воздуха в тормозной магистрали, воздухораспределители 15 перепускают воздух из запасных резервуаров 14 в тормозные цилиндры 17. Давление воздуха в напорной и тормозной магистралях измеряется манометром с двумя стрелками, а в тормозных цилиндрах — манометром с одной стрелкой. Для синхронизации управления тормозами в соединенных поездах служит трехходовой кран 2. На современных грузовых локомотивах устанавливают сигнализаторы обрыва для информации машинистов при разрыве тормозной магистрали.

### 6.3. Тормозная система поезда

Здесь приведем краткие (общие) сведения о тормозной системе поезда, который, как известно, представляет собой локомотив (электровоз или тепловоз) вместе с составом вагонами.

О тормозном оборудовании тепловоза мы говорим выше и на рис. 6.1. показали расположение устройств и приборов его тормозной системы.

На электровозах, оборудованных рекуперативным торможением, установлены блокировочные клапаны для выключения тормозных цилиндров электровоза вовремя рекуперативного торможения, а также для приведения в действие пневматического тормоза при экстренном торможении с одновременным выключением рекуперации.

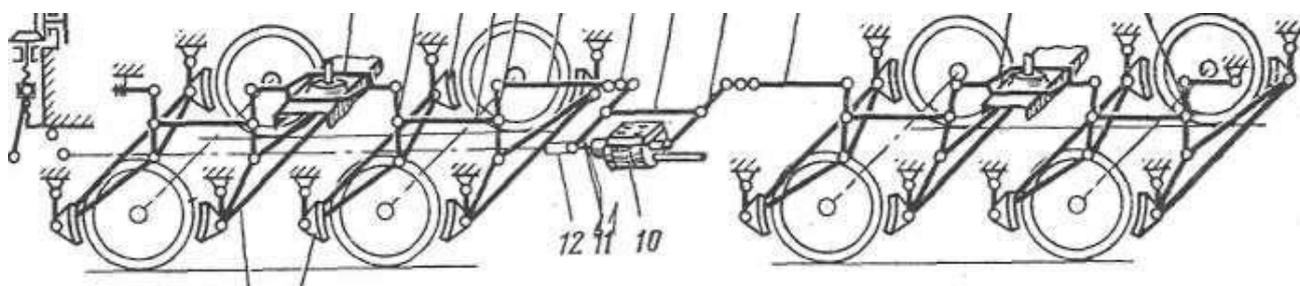
Тормозное оборудование вагона состоит из воздухораспределителя, тормозного цилиндра, запасного резервуара, тормозной магистрали, рычажной передачи с тормозными колодками или дисков с тормозными накладками, грузовых авторежимов.

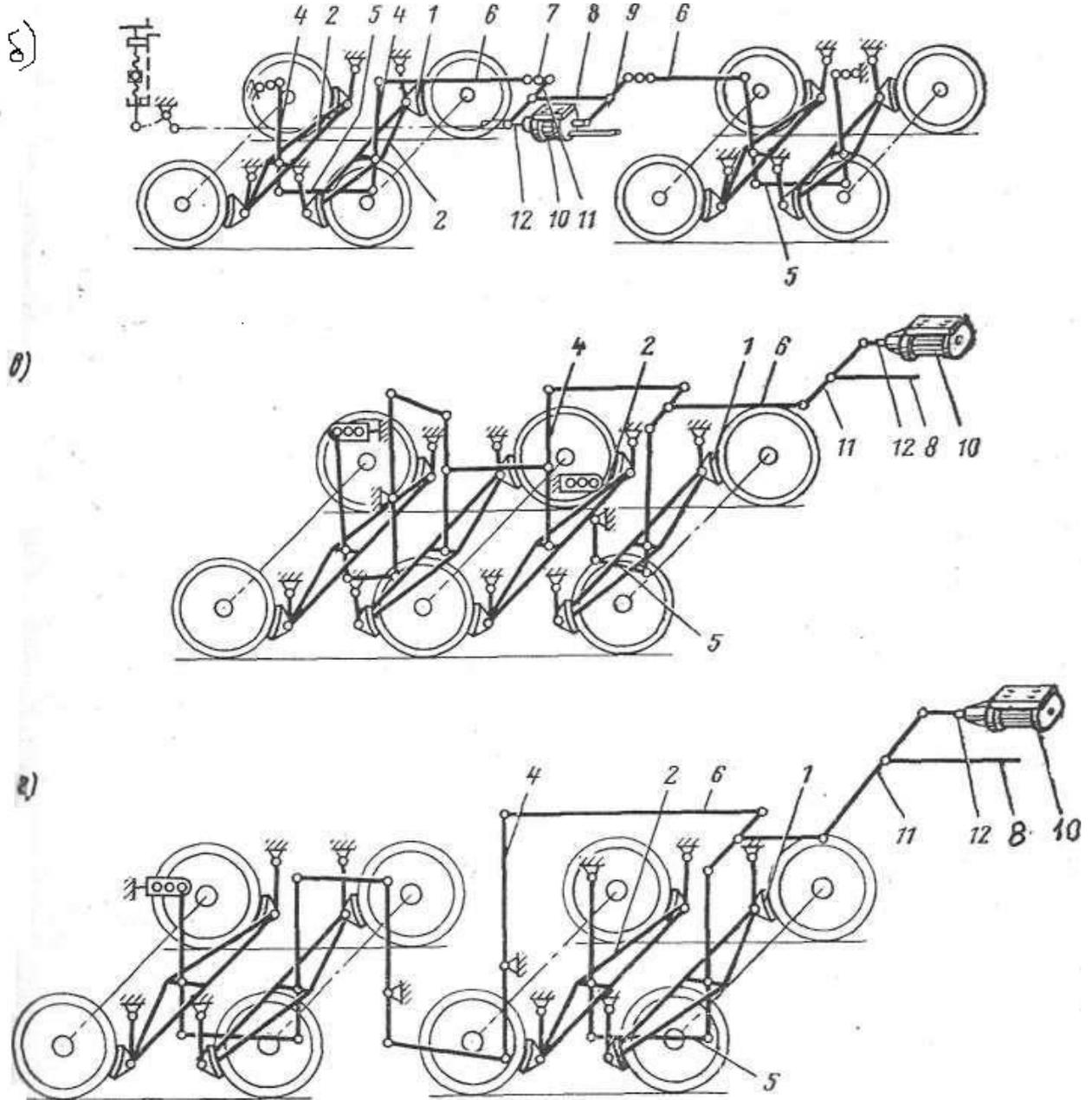
#### 6.4. Тормозные рычажные передачи подвижного состава

На локомотивах и вагонах установлены тормозные рычажные передачи, состоящие из триангелей, рычагов, тяг и подвесок, при помощи которых сила давления воздуха на поршень тормозного цилиндра равномерно распределяется между всеми тормозными колодками. Сила нажатия тормозных колодок в несколько раз больше, чем развиваемая поршнем тормозного цилиндра, за счет соотношений длин плеч рычагов. Отношение силы нажатия всех тормозных колодок единицы подвижного состава (без учета сопротивлений) к силе, развиваемой на штоке тормозного цилиндра (или цилиндров, если их несколько), называется *передаточным числом тормозной рычажной передачи*.

Тормозные рычажные передачи применяются с односторонним и двусторонним нажатием колодок. Рассмотрим принцип действия тормозных рычажных передач грузовых вагонов различной осности и четырехосных пассажирских вагонов, которые показаны на рис.6.2, где обозначено; 1 – тормозные колодки; 2 – триангели; 3 – рамки междурычажных передач; 4 – вертикальные рычаги; 5,8 – затяжки; 6 – тяги; 7 – многодырные головки; 9,11 – горизонтальные рычаги; 10 – тормозной цилиндр; 12 – шток поршня.

а)





**Рис 6.2.** Схема тормозных рычажных передач вагонов четырехосного пассажирского(а), четырехосного грузового(б), шестиосного грузового(в) и восьмиосного грузового (г)

При торможении шток 12 поршня тормозного цилиндра 10, передвигаясь, передает усилие горизонтальным рычагам 9 и 11 и далее при помощи тяг 6 и вертикальных рычагов 4 триангелям 2, которые прижмут тормозные колодки 1 к колесам.

Ручными тормозами оборудованы локомотивы, вагоны моторвагонного подвижного состава, пассажирские и часть грузовых вагонов. Усилие от маховика ручного тормоза на колодки подвижного состава передается через продольные тяги, соединенные с главным рычагом.

Для удержания на месте вагонов, стоящих на станционных путях после отцепки локомотивов, разработаны автоматические стояночные тормоза, опытная партия которых проходит эксплуатационные испытания на вагонах-рефрижераторах. Механизм тормоза встроен в тормозной цилиндр и действует следующим образом. После торможения с локомотива и его отцепки давление в магистрали и тормозном цилиндре из-за утечек воздуха постепенно снижается. Выдвинутый при торможении шток тормозного

цилиндра заклинивается в этом положении и будет оставаться в заторможенном состоянии до подхода локомотива и повышения давления воздуха в магистрали или отпуска тормоза вручную.

Тормозные башмаки применяются со свободной и глухой посадкой на цапфы триангеля. Колодки могут быть гребневые и безгребневые, чугунные или композиционные. Композиционная колодка состоит из стальной спинки и тела колодки. Для предотвращения изломов колодки изготавливают со стальным сетчатым каркасом вместо стальной спинки. На поверхности трения композиционных колодок имеется вырез для отвода тепла с поверхности катания колесных пар при торможении и для удаления продуктов износа трущихся пар. Композиционные колодки изнашиваются в 2,5-3,0 раза медленнее, чем стандартные чугунные. Величина коэффициента трения у них мало изменяется в зависимости от скорости движения, а главное, при скорости выше 40 км/ч она значительно больше, чем у чугунных, что особенно эффективно в скоростных поездах.

Для поддержания постоянной величины хода поршня тормозного цилиндра и зазора между колодками и колесами, что позволяет не производить ручное регулирование рычажных передач при износе тормозных колодок, предназначен автоматический регулятор тормозной рычажной передачи, который устанавливается на моторвагонном подвижном составе, на пассажирских и грузовых вагонах.

Автоматический регулятор Бескулисного типа дел. № 536 М, состоящий из регулирующего механизма и привода, двустороннего действия в процессе отпуска тормозов собирает рычажную передачу (т.е. уменьшает зазоры между колодками и колесами), а при торможении может ее распускать, если в этом возникает необходимость. В таких регуляторах для снижения потерь тормозного нажатия, возникающих при сжатии их пружин, установлен рычажной привод между регулирующим механизмом и горизонтальным рычагом.

Регулятор усл. № 574 Б одностороннего действия только автоматический стягивает рычажную передачу по мере износа тормозных колодок, а автоматический роспуск рычажной передачи он не обеспечивает, что позволяет значительно упростить конструкцию такого регулятора и, соответственно, повысить его эксплуатационную надежность. Этот регулятор полностью взаимозаменяем с регулятором усл. № 536 М и устанавливается на том же месте в тормозной рычажной передаче вагонов.

### **6.5. Тормозное оборудование и его конструктивные особенности**

Рассмотрим назначение и конструктивные особенности устройств и приборов, используемых в пневматическом тормозном оборудовании подвижного состава.

Автоматический регулятор режима торможения (авторегим) предназначен для регулирования давления воздуха в тормозных цилиндрах в зависимости от величины загрузки вагонов и устранения ручного переключения с одного режима на другой, а также равномерного

распределения тормозных усилий между вагонами и снижения величины продольных усилий во время торможения.

Грузовые авторежимы укреплены на подрессоренной части вагона и разделяются на два типа: усл.№265А-000 для грузовых вагонов и усл.№265Б-000 для дизель-поездов, почтово-багажных и пассажирских некупированных вагонов. На локомотивах и моторвагонном подвижном составе для питания тормозных систем поездов сжатым воздухом установлены компрессоры типа КТ (1КТ, КТ6, КТ7) – трехцилиндровые, вертикальные, двухступенчатые с промежуточным охлаждением воздуха.

Компрессор состоит из корпуса, двух цилиндров низкого давления, одного цилиндра высокого давления, холодильника радиаторного типа с предохранительным клапаном, узла шатунов и поршней, а также масляного насоса и клапанных коробок.

Регуляторы давления служат для поддержания давления воздуха на заданном уровне в главных резервуарах. Они автоматически останавливают (на электровозах, электропоездах и паровозах) или переключают на холостой ход (на тепловозах) компрессоры, когда давление сжатого воздуха достигает верхнего предела а также включают их (компрессоры) после снижения давления сжатого воздуха до определенной величины. Давление сжатого воздуха в главных резервуарах между выключением компрессоров колеблется от 0,75...0,9 МПа.

Аналогичные назначения имеют предохранительные и обратные клапаны.

Для управления действием пневматических и электропневматических тормозов служат краны машиниста – кран машиниста усл.№395 предназначен для управления электропневматическими и пневматическими тормозами. Первый кран состоит из верхней части с ручкой, средней части с поршнем и клапанами (питательный и выпускной), а также нижней части, редуктора и стабилизатора. Второй кран в отличие от первого имеет электрический контроллер.

Кран машиниста усл.№394 имеет шесть фиксированных рабочих положений. В положении I воздух из главного резервуара поступает в тормозную магистраль по широким каналам золотника и корпуса крана - давление воздуха быстро повышается, что способствует ускорению отпуска и зарядки тормозов в поезде.

При положении II ручки крана (поездное положение) прямое сообщение главного резервуара с тормозной магистралью прекращается, давление магистрали устанавливается и автоматически поддерживается (в пассажирских поездах – 0,50...0,52 МПа, в грузовых поездах – 0,53...0,55 МПа ) в зависимости от того, как отрегулирована пружина редуктора.

В положении III (перекрыша без питания) – сообщение главного резервуара с редуктором прекращается, а уравнительный резервуар сообщен с тормозной магистралью через обратный клапан.

В положении IV (перекрыша с питанием тормозной магистрали) – все каналы перекрыты золотником, давление в тормозной магистрали

устанавливается и автоматически поддерживается на заданном уровне (в случае отсутствия утечек воздуха в уравнительном резервуаре).

Положение V – служебное торможение, происходит снижение давления в уравнительном резервуаре с 0,5 до 0,4 МПа за 4,0...6,0 с.

В положении VI – экстренное торможение, происходит быстрое снижение давления в тормозной магистрали при непосредственном ее сообщении с атмосферной через широкие каналы в золотнике крана машиниста.

Кран вспомогательного тормоза предназначен для управления пневматическими тормозами локомотива независимо от действия тормозов в составе поезда. В настоящее время применяются два типа кранов машиниста - на всех современных локомотивах стран СНГ устанавливаются краны клапанно-поршневые усл.№254 и пробковые, которые применяются на электровозах ЧС1 и ЧС3 (имеет три фиксированных положения ручки – отпуск, перекрыша и торможения).

Для ограничения конечной величины давления воздуха в тормозных цилиндрах на трубе, ведущей к ним, установлена клапан максимального давления усл.№ 3МД.

Кран вспомогательного тормоза локомотива усл.№ 254 имеет шесть фиксированных положений ручки: I – положение служит для отпуска тормозов локомотива при заторможенном составе; II – поездное – тормозные цилиндры локомотива сообщены с атмосферной, но при торможении краном машиниста вместе с тормозами вагонов автоматически приходит в действие и тормоз локомотива; III – первая ступень торможения (тормозится только локомотив), давление в тормозных цилиндрах 0,1...0,13 МПа; IV – вторая ступень торможения – 0,17...0,2 МПа; V – третья ступень торможения – 0,27...0,3 МПа. Для полного торможения в один прием ручка крана переводится сразу из II в VI положение, при этом давление в тормозных цилиндрах достигнет 0,37...0,4 МПа в течение 4 с.

При отпуске тормоза снижение давления в тормозных цилиндрах от 0,35 до 0,05 МПа происходит в течение не более 13 с. При всех тормозных положениях ручки крана давление в тормозных цилиндрах автоматически поддерживается на заданном уровне.

Воздухораспределители, установленные на каждой тормозной единице подвижного состава, предназначены для регулирования давления сжатого воздуха в тормозных цилиндрах в зависимости от изменения давления воздуха в тормозной магистрали поезда. Воздухораспределитель выполняет следующие функции: сообщает запасной резервуар с магистралью в процессе зарядки тормозной системы сжатым воздухом; сообщает запасный резервуар с тормозным цилиндром во время торможения при снижении давления в магистрали темпом  $\sim 1,0 \text{ Н}/(\text{см}^2 \cdot \text{с})$  и более; автоматически поддерживает заданное давление в тормозном цилиндре после той или иной ступени торможения при тормозах прямодействующего типа; сообщает тормозные цилиндры с атмосферой во время отпуска тормозов (при повышении давления в магистрали). При снижении давления в магистрали темпом не быстрее  $\sim 3,0 \text{ Н}/(\text{см}^2 \cdot \text{с})$  воздухораспределители в действие не приходят. Для

пассажирского подвижного состава применяются воздухораспределители усл. №292-000 и 292-001, имеющие режим короткосоставного и длинносоставного поездов, а для грузового - воздухораспределители усл.№ 270-002, 270-005-1.

В системе электропневматических тормозов в пассажирских поездах применяются электровоздухораспределители усл.№ 305. 000, а в электропоездах и дизель-поездах – усл.№ 305-001.

Технические данные воздухораспределителя усл.№ 270-005-01: скорость распространения тормозной волны при служебной торможении 210 м/с, а при экстренном торможении – 230 м/с; время наполнения тормозного цилиндра до давления  $\sim 0,35$  МПа ( $3,5$  кгс/см<sup>2</sup>) при экстренном торможении составляет 15,0...20,0 с; время отпуска после полного служебного торможения на равнинном режиме не более 35,0 с.

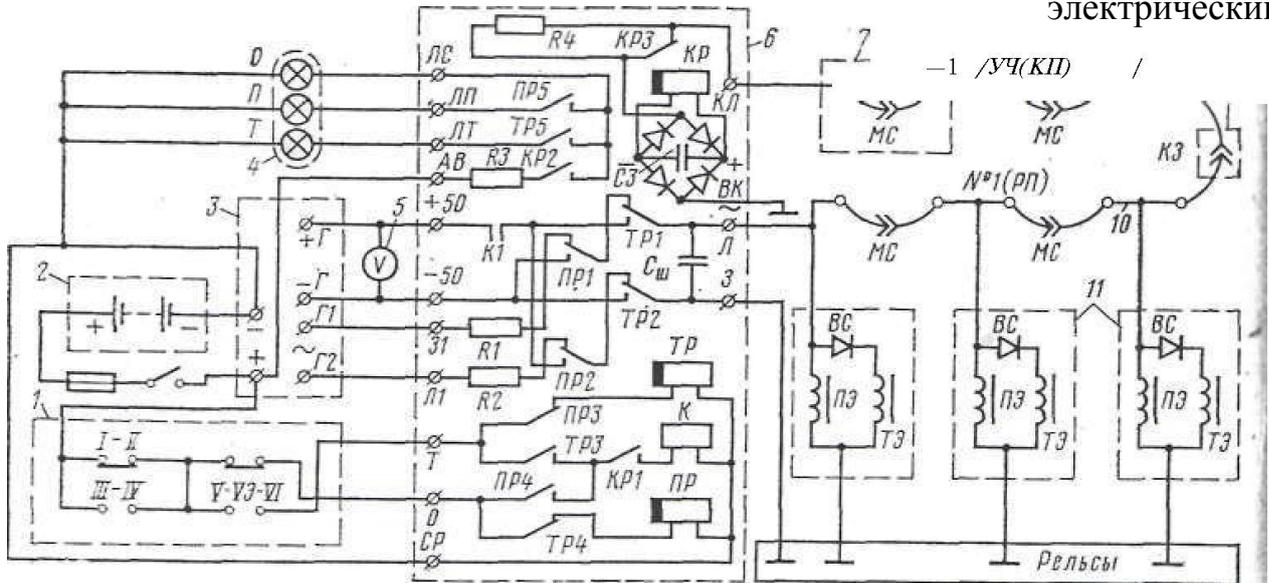
Техническая характеристика электровоздухораспределителя усл.№ 305-000: зарядное давление  $\sim 0,5...0,52$  МПа ( $5,0...5,2$  кгс/см<sup>2</sup>); номинальное напряжение постоянного тока 50 В; номинальная мощность 6,95 Вт4 время наполнения тормозного цилиндра (до  $\sim 0,3$  МПа) 2,5...3,5 с; время выпуска воздуха из тормозного цилиндра (до  $\sim 0,04$  МПа) 8,0...10,0 с и 3,5...4,5 с (усл.№ 305-001).

Реле давления применяется на пассажирских локомотивах, вагонов электро-и дизель-поездов, которое повторяет действия, задающиеся воздухораспределителем, обслуживающим свой тормозной цилиндр.

### **6.6. Электропневматические тормоза**

Электропневматический тормоз устанавливается на пассажирских локомотивах и вагонах с сохранением пневматического тормоза. В случае неисправности электропневматического тормоза происходит автоматический переход на пневматическое торможение при снижении давления в магистрали через кран машиниста.

Принципиальная электрическая схема электропневматического тормоза приведена на рис.6.3, где обозначено: 1- кран машиниста \_\_ с контроллером; 2 — аккумуляторная батарея цепей управления локомотива; 3 — электрический



источник питания электропневматического тормоза; 4 — ламповый сигнализатор; 5 — вольтметр; 6 — блок управления: 7 — междувагонные соединения; 8 — контрольный провод Д? 2 (КП); 9 — концевая заделка (изолированная подвеска с электрорукавом КЗ)- 10 — раоочии провод № 1 (РП); 11 — электровоздухораспределитель

Рис.6.3. Принципиальная электрическая схема электропневматического тормоза для пассажирских поездов

При отпущенном состоянии тормоза (I и I I положения контроллера крана машиниста) реле *TR* и *PR* блока управления не возбуждены и в линейные провода № 1 я 2 постоянный ток не поступает. Для контроля состояния линии от выводов *Г1* и *Г2* подается переменный ток напряжением около 40 В частотой 625 Гц через выходы *Л1*, *31*, ре-Щ зисторы *РУ* и *Я2*, контакты *ПР1*, *ПР2*, *ТР1* и *ТР2*, вывод *Л* и *3* в линейный I провод № / и рельсы.

В хвостовом вагоне провода № 1 я 2 замыкаются контактом *КЗ* и переменный ток через вывод *КЛ* попадает в мост *В К*- Выпрямленный мостом *В К* ток возбуждает реле *КР*, его контакты *КР1* и *КР2* замыкаются, а контакт *КР3* размыкается. Создается цепь постоянного тока от плюса источника постоянного тока (+Г) через выходы *3* и *АВ*, резистор *Р3*, замкнутый контакт *КР2*, вывод *ЛС*, лампу *О* и на минус источника (—Г). Лампа *О* горит, сигнализируя об исправном состоянии линейных проводов.

В положении перекрыша (I I I и I V положения ручки крана машиниста) напряжение переменного тока в электрической магистрали снимается и в нее

подаётся напряжение постоянного тока (плюс в рельсы, а минус в линейный провод № 1). При этом постоянный ток от клеммы +Г через контакты III и IV контроллера 1 протекает в блок управления 7 и далее через замкнутый контакт TP4 тормозного реле TP и катушку реле PP к выводу —Г. Реле PP возбуждается, и контакты PP1, PP2, PP3, PP4, PP5 замыкаются, и загорается лампа Я. Напряжение подаётся через контакт KP1 (реле KP имеет замедление на отпадание, поэтому контакт KP1 не успевает разомкнуться после снятия с линии напряжения переменного тока) на катушку реле K и оно возбуждается. От выводов +Г подаётся напряжение через вывод +50, контакты K1, PP2, TP2 и вывод 3 в рельсы, а от выводов -Г и —50 через контакты PP1, TP1 и вывод Л в провод № 1 и далее через замкнутый контакт K3 в провод № 2 и через вывод КЛ на реле KP. При подаче напряжения постоянного тока такой полярности, т. е. плюс в рельсы, а минус в рабочий провод, катушки электромагнитных ПЭ электровоздухораспределителей ИИ возбуждаются, а катушки вентиля ТЭ остаются невозбуждёнными, так как этому препятствуют запорные вентили ВС.

Служебное и экстренное торможения происходят при переводе ручки крана машиниста в положение УЭ, V или VI. В провод № 1 подаётся напряжение постоянного тока прямой полярности, т. е. плюс в провод, а минус на рельсы. При этом реле TP возбуждается и контакты TP1, TP2, TP3, TP4, TP5 перебрасываются в нижнее положение, при котором постоянный ток протекает от ввода +Г через вывод +50, замкнутый контакт K7, контакт TP1, вывод Л в провод № 1, контакт K3, провод № 2, клемму КЛ к реле KP. Электромагнитные вентили ПЭ и ТЭ возбуждаются и происходит торможение, а на сигнализаторе локомотива загорается лампа Т.

Если в процессе торможения произойдет повреждение электропневматического тормоза, то машинист использует пневматический тормоз. У электропневматического тормоза электропоездов и дизель-поездов отечественной постройки в отличие от тормозов пассажирских поездов постоянный ток от аккумуляторных батарей используется непосредственно для управления действием электропневматического тормоза и контроля целостности линейных проводов. Количество вагонов в этих поездах сравнительно небольшое, поэтому подача напряжения в линейные провода тормоза и его снятие производятся также непосредственно через контакты контроллера № ЕК-8АР крана машиниста усл. № 334 Э.

### 6.7. Дисковые и электромагнитные рельсовые тормоза

Дисковые тормоза (рис. 6.4) устанавливаются на скоростные пассажирские вагоны для устранения перегрева поверхности катания колес при торможении. Тормоз состоит из четырех дисков 1 на тележку (по два диска на каждой оси), укрепленных на внутренних частях осей колеса, и восьми спаренных рычагов 4. Каждая пара рычагов соединенная шарнирно с тормозными цилиндрами 5 и двумя башмаками 2 установлена на балке 7, которая соединена с поперечной балкой 6 и кронштейном 3. Тормозные диски 1, применяемые сплошными или разъемными, изготавливают из чугуна. Они имеют внутри ребра, при помощи которых поток воздуха охлаждает диски. При отпущенном тормозе башмаки 2 отводятся от дисков пружинами 8. Управление действием дискового тормоза происходит одинаково с колодочными тормозами.

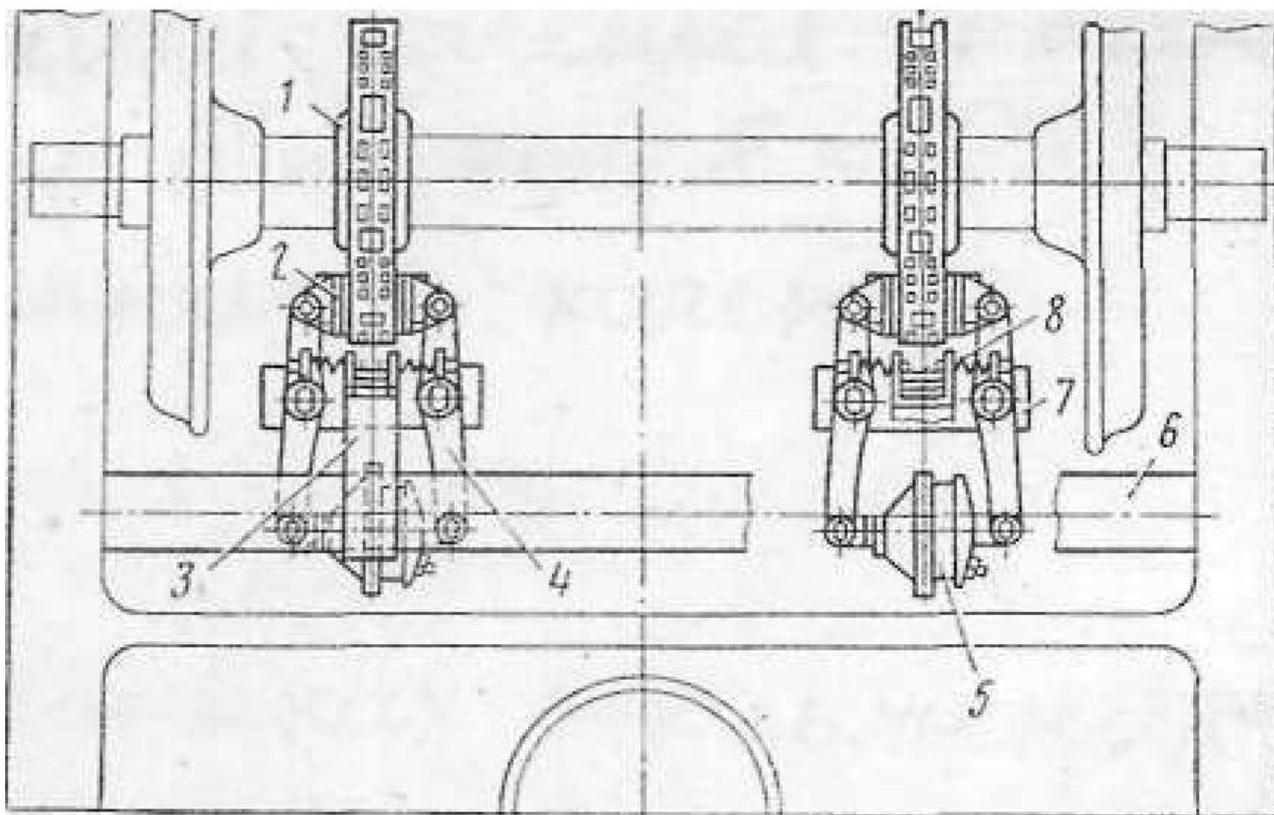


Рис. 6.4. Расположение дискового тормоза на тележке пассажирского вагона

На вагонах поездов, скорость движения которых достигает 160 км/ч и выше, устанавливают электромагнитные рельсовые тормоза. На тележке вагона (рис. 6.5) размещено по два электромагнитных башмака 1, соединенных между собой связями 2. Башмаки поддерживаются в верхнем положении при помощи пружин, расположенных внутри цилиндров 3.

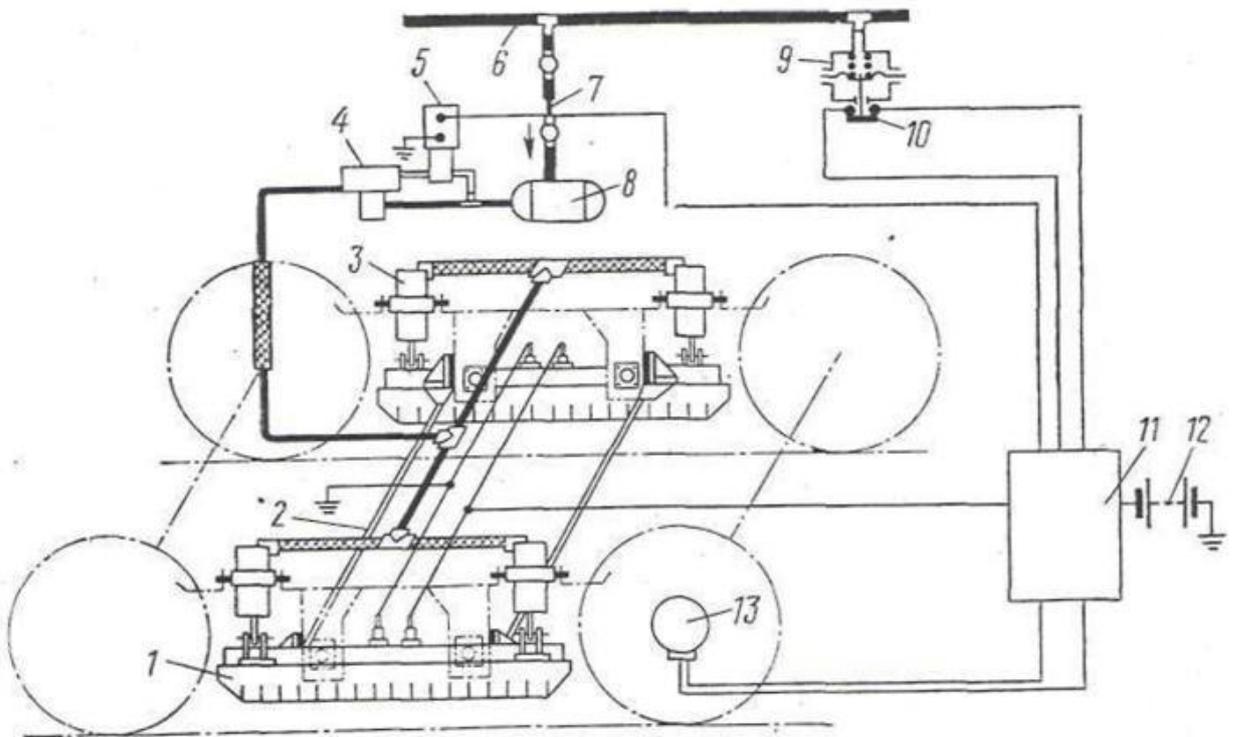


Рис. 6.5. Расположение электромагнитного рельсового тормоза

Во время зарядки тормозной системы поезда сжатый воздух из магистрали **6** через дроссельное отверстие **7** и обратный клапан заполняет резервуар **8**. При экстренном торможении ускоритель **9** приходит в действие, замыкает контакты **10**, включает блок **11**, через который возбуждается вентиль **5** и пневматическое реле **4**, сообщающее резервуар **8** с цилиндрами **3**. Под давлением воздуха поршни цилиндров **3** опускают башмаки **1** на рельсы, и в это же время в катушки башмаков подается напряжение от батареи **12**, результате чего они прижимаются к рельсам с силой до 10 тс. После снижения скорости до 15...10 км/ч электромагнитный рельсовый тормоз автоматически выключается во избежание нарушения плавности остановки и разрядки аккумуляторной батареи.

### 6.8. Противоюзные устройства

В пассажирских поездах при скорости движения 140 км/ч и выше необходимо реализовать тормозную силу, предельную по сцеплению колес с рельсами. Во избежание заклинивания колес применяют противогазные устройства. Эти устройства автоматически растормаживают ту колесную пару, которая начинает проскальзывать, чем и предотвращается опасность заклинивания.

В противогазном устройстве имеются осевые датчики (механические или электрические), которые при резком замедлении вращения колесных пар передают сигнал на сбрасывающий клапан, и при его помощи воздух из тормозных цилиндров быстро (за 0,3 с) выпускается в атмосферу. Расторможенная колесная пара начинает вращаться нормально, и тогда

тормозные цилиндры снова автоматически заполняются сжатым воздухом. Такого типа противогазные устройства должны отвечать следующим основным техническим условиям: при замедлении  $2 \text{ м/с}^2$  противогазные устройства не должны реагировать, а при замедлении  $4 \text{ м/с}^2$  они должны приходить в действие.

В отличие от инерционно-механических у электрических осевых датчиков выдаются два сигнала. При рассогласовании сравниваемых напряжений датчиков, а следовательно, и сравнении скорости движения колесных пар (в пределах 2-5 км/ч) подается сигнал на растормаживание. После согласования этих напряжений выдается сигнал на наполнение тормозного цилиндра сжатым воздухом.

В случае одновременного заклинивания всех колесных пар вагона срабатывает устройство, контролирующее абсолютную величину допускаемого замедления и клапаны быстро выпускают воздух из всех тормозных цилиндров вагона.

### **Контрольные вопросы**

1. Автоматические тормоза подвижного состава и их назначение.
2. Какие существуют виды и режимы торможения.
3. пневматические тормоза – это...
4. Электропневматические тормоза – это...
5. Поясните принцип действия пневматических тормозов.
6. Перечислите устройства и приборы, которые используются в автотормозах подвижного состава.
7. Назначение тормозных рычажных передач и их устройство.
8. Расскажите о тормозном оборудовании локомотивов.
9. Обозначьте тормозное оборудование вагона.
10. Для чего предназначен автоматический регулятор рычажной передачи.
11. В чем состоят функциональные особенности автоматического регулятора режима торможения (авторегима).
12. Назначение и устройство компрессоров локомотива.

13. Для чего служит регулятор давления.
14. Общие сведения о кранах машиниста, их предназначение для тормозной системы поезда.
15. Кран вспомогательного тормоза локомотива предназначен для...
16. Воздухораспределители и их функциональное назначение.
17. Где применяются электровоздухораспределители
18. Для чего нужно реле давления.
19. Поясните работу электропневматического тормоза.
20. Назначение, управление действием и устройство дискового тормоза.
21. Расскажите об электромагнитных рельсовых тормозах.
22. Противоюзные устройства – назначение и конструктивные особенности.

### **Литература**

1. Крылов В.И., Крылов В.В. Автоматические тормоза подвижного состава. – М.: Транспорт, 2002, 319 с.
2. Подвижной состав и тяга поездов. Под ред. В. В. Деева и Н. А. Фурьянского. – М.: Транспорт, 1979, 368 с.
3. Подвижной состав и тяговое хозяйство. Под ред. А. П. Третьякова. М.: Транспорт, 1971, 352 с.

### **Лекция № 7:**

#### **Общие сведения о теории тяги поездов. Построение модели тяги и движения поезда. Силы, действующие на поезд**

#### **План лекции**

1. Общие сведения о теории локомотивной тяги.
2. Методологические основы теории тяги поездов.
3. Модели механики движения поезда.
4. Исходные положения для формирования модели поезда.
5. Силы, действующие на поезд при его движении.

## б. Режимы и виды движения поезда.

**Теория локомотивной тяги изучает управляемое движение поездов.**

При этом поезд рассматривают как управляемую систему, функционирующую в условиях переменных возмущающих воздействий внешней среды с учетом наложения внутренних и внешних удерживающих связей, а также допустимых ограничений ее управляющих воздействий.

**Система** – это совокупность объектов, имеющих между собой связи и функционирующих во времени как одно целое. В теории тяги поездов локомотив и вагоны, связанные между собой автосцепками, рассматривают перемещающимися в пространстве и во времени как единое целое, т.е. как система, не имеющая никаких других движений, кроме управляемого.

Отметим, что автосцепки являются внутренними, а рельсы – внешними удерживающими связями, которые определяют траекторию движения и направления сил, воздействующих на управляемое движение поезда. А переменные внешние воздействия обуславливаются неравномерностью профиля пути, изменением скорости движения и метеорологическими условиями.

**Ограничения** – есть допустимые состояния поезда в целом и локомотива в частности, в области которых может нормально (в штатном режиме) протекать процесс движения.

В свою очередь, ограничения обусловлены ресурсами управления и условиями эксплуатации. Первые ограничения определяются: ограничениями энергии, получаемый от источника мощности; номинальной мощностью тяговых электродвигателей; оснащённостью поезда тормозными средствами; сцеплением движущих колёс с рельсами, определяющим устойчивость против боксования (юза); конструкционной скоростью локомотива; условиями надёжности по допускаемым токам и напряжениям электрических машин. Вторыми ограничениями являются: длина приёмо-отправочных путей станций; метеорологические условия; температура нагрева обмоток тяговых электрических машин локомотивов; предельно допускаемые скорости; унификация весовых норм поездов.

**Состояние поезда** – это есть его положение в пространстве и скорость в фиксированный момент времени, а также тяговые параметры в области допустимых состояний, определяющих управляемое движение поезда.

**Поведение поезда** – есть изменение в текущем времени всех координат состояния поезда, определяющих управляемое движение: пути, скорости, силы тока, напряжения, нагрева обмоток, тормозной силы.

**Управлением поезда** называется такая организация процесса движения, при которой обеспечивается достижение поставленной цели и соблюдение всех ограничительных условий его состояния.

**При расчётах движения поездов стремятся обеспечить наибольшие провозную и пропускную способности железных дорог при минимальных затратах энергоресурсов.** Для достижения этой цели исходят из принципа возможного максимума, т.е. вождения поездов наибольшей массы с наибольшей допустимой скоростью при наибольшем использовании кинетической энергии на каждом элементе неравномерного профиля пути. Этот принцип узаконен ПТР (правилами тяговых расчётов) и именно им следует руководствоваться в процессе выполнения тяговых расчётов.

При рассчитанном и заданном расписанием движении, цель управления состоит в том, чтобы диспетчер и машинист (автомашинист) привели поезд по месту назначения в заданное время прибытия.

Очевидно, для расчёта и практической реализации его машинистом требуется подобрать такие управляемые силы, которые будут в состоянии преодолеть силы сопротивления движению и силы инерции таким образом, чтобы обеспечить достижение заданных состояний поезда на каждом этапе управления.

Такими управляемыми силами являются сила тяги локомотива и тормозная сила поезда, которые относятся к категории управляющих воздействий систем, т.е. воздействия, сознательно изменяемые для достижения цели управления. Силы сопротивления движению поезда относятся к возмущающим воздействиям.

Для расчета движения используется **математическая модель поезда** — дифференциальное уравнение движения, описывающее его поведение с достаточной для целей практики точностью. Решение дифференциального уравнения позволяет определить закон движения на всех этапах управления и поэтому составляет центральную часть теории тяги и тяговых расчетов.

Решением этого уравнения с учетом ресурсов и ограничений определяют время, путь, скорость движения, нормы веса поездов, расход

топливно-энергетических ресурсов на тягу при гарантированной безопасности движения поезда, устойчивости и надежности работы локомотивов.

Расчетную часть теории тяги поездов называют **тяговыми расчетами**, **которые** используются для разработки графика движения поездов, изыскания и проектирования железных дорог, а также расчетов в области экономической эффективности перевозок. Поэтому, тяговые расчеты являются основным расчетным инструментом в области рационального функционирования, планирования и развития железных дорог.

Таковы краткие сведения о предмете и методологических основах теории тяги поездов.

Для того чтобы обеспечить необходимое сходство в поведении оригинала и модели поезда, необходимо вначале сформировать **физическую модель**, т.е. некоторый аналог функционирования его как системы с допущениями, упрощающими расчет и не оказывающими существенного влияния на точность расчетов движения. После этого можно составить аналитическое описание поведения поезда — математическую модель.

Из теоретической механики известно, что для описания поведения системы требуется столько уравнений движения, сколько степеней свободы имеет система. Поэтому вначале определим число степеней свободы поезда, перемещающегося в рельсовой колее. Как отмечено ранее, в тяге поездов изучают только управляемое движение и пренебрегают неуправляемыми движениями подвижного состава: поперечными в рельсовой колее, продольными в зазорах автосцепок, вертикальными при колебаниях обрессоренного веса и др.

Если в качестве допущения пренебречь этими движениями, то можно считать, что рельсовый путь представляет собой такую внешнюю удерживающую связь, наложение которой заставляет поезд двигаться только в одном направлении — вдоль рельсов.

На этом основании установлены два постулата — исходных положения для формирования модели поезда.

**Постулат I:** поезд имеет только одну степень свободы, а значит, для описания его поведения требуется лишь одно уравнение движения, что облегчает расчеты и: принято в теории тяги поездов.

На подвижной состав воздействует много сил, различных по природе образования, месту приложения и направлению действия.

Учесть все силы невозможно, и в этом нет необходимости, так как нас интересуют только те силы, которые влияют на управляемое движение.

**Постулат II:** для описания поведения поезда, имеющего одну степень свободы, необходимо и достаточно знать только те силы, которые совпадают с направлением движения или противоположны ему.

Далее, можно допустить, что автосцепка представляет собой такую внутреннюю связь, наложение которой удерживает вагоны и локомотив поезда на постоянном расстоянии друг от друга и заставляет проходить один и тот же путь с одинаковой скоростью.

Из механики известно, что такое движение является признаком поступательного движения так называемой неизменяемой системы. На этом основании установлены еще три постулата.

**Постулат III:** так как поступательное движение неизменяемой системы полностью определяется движением центра ее масс, то движение поезда можно описать как движение материальной точки, в которой сосредоточена вся масса поезда. Как известно, под материальной точкой понимают тело, размерами которого можно пренебречь при описании его движения. Расположение центра масс принято в середине длины поезда.

**Постулат IV:** так как сумма работ внутренних сил неизменяемой системы равна нулю, то для описания движения поезда достаточно учитывать только внешние силы и не принимать во внимание внутренние. При этом надо учитывать только те внешние силы, которые совпадают с направлением движения по рельсам или противоположны ему.

**Постулат V:** если модель поезда представляет собой материальную точку, к которой приложены внешние силы, действующие в одном направлении, то для расчета движения может быть использован известный в механике принцип наложения (суперпозиции). Сущность его состоит в том, что результирующее движение системы равно сумме движений, возникающих под действием каждой силы в отдельности.

Исходя из принципа суперпозиции в теории тяги все силы, воздействующие на управляемое движение поезда, заменяют одной равнодействующей силой, равной по величине алгебраической сумме

внешних сил и приложенной в середине поезда в направлении движения или против него.

Итак, в результате принятых допущений *физическую модель поезда* можно представить как управляемое движение материальной точки с одной степенью свободы, в которой сосредоточена вся масса поезда и к которой приложена равнодействующая сила, равная по величине алгебраической сумме внешних сил, действующих по направлению или против движения поезда.

Для удобства расчетов в механике принято приводить силы к определенному месту. В тяге поездов все силы, воздействующие на управляемое движение, считают приложенными к ободам колес локомотива и вагонов поезда.

На рис. 1.1 приведена принятая физическая модель поезда, где обозначены силы, которые необходимо учитывать в расчетах движения:  $F_k$  — касательная сила тяги локомотива;  $W_k$  — сопротивление движению поезда;  $B_T$  — тормозная сила поезда;  $Q$  — вес поезда;  $Q'$  — «реакция» рельсового пути (рельсов).

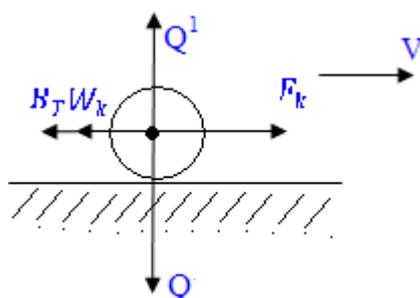


Рис 1.1 Силы, действующие на поезд.

**Сила тяги** — это управляемая движущая сила, создаваемая двигателями тяговой передачи локомотива во взаимодействии с рельсами и приложенная к ободам движущих колес в направлении движения поезда. Сила тяги, как управляющее воздействие, может изменяться машинистом либо в результате саморегулирования тяговых передач локомотивов, обладающих свойством адаптивности, либо автоматическим устройством — автомашинистом.

**Силой сопротивления** называют совокупность всех неуправляемых сил, возникающих в процессе движения, приведенных к ободам колес поезда и направленных против движения.

**Тормозная сила** — есть совокупность управляемых сил, создаваемых тормозными средствами поезда во взаимодействии с рельсами и приложенных к ободам колес в направлении, противоположном движению. Действие этой силы регулируется машинистом или автоматическим устройством.

При неравномерном движении поезда действуют также силы инерции

$$m \frac{dv}{dt} + m_a \frac{d\omega}{dt} = T \quad (1.1)$$

поступательно движущихся масс  $m$  и вращающихся масс  $m_a$  поезда, на преодоление которых затрачивается работа силы тяги или тормозной силы. Однако при определенных условиях кинетическая энергия этих сил может преобразовываться без потерь в работу по передвижению поезда.

В зависимости от сочетания рассмотренных сил различают режимы движения поезда: **режим тяги**, когда действуют силы  $(F_K - W_K - T)$ , **режим торможения**, когда действуют  $(B_T \pm W_K - T)$ , и **режим холостого хода**, когда действуют силы  $(T - W_K)$ .

Соотношения величин сил, составляющих равнодействующую поезда, определяет характер движения: при  $(F_K - W_K - T) > 0$  — движение ускоренное; при  $(F_K - W_K - T) < 0$  — движение замедленное; при  $(F_K - W_K) = 0$  — движение равномерное ( $T=0$ ).

В режиме холостого хода (режим выбега) поезд движется без участия силы тяги локомотива, т.е. по инерции или под уклон (спуск). Движение при этом, как правило, за исключением движения на крутых спусках, замедленное.

В режиме торможения равнодействующая сил всегда отрицательна и поэтому движение поезда — замедленное.

**Приведем другую интерпретацию построения простейшей модели механики движения поезда, принятой в тяговых расчетах, которая основывается на следующих суждениях.**

Общее представление о движущемся поезде дает его расчетная схема (рис. 1.2, а). На ней поезд показан как связка (совокупность) локомотива и группы (состава) вагонов, сцепленных вместе упругими связями. Длина поезда —  $l_{п}$ .

На поезд целиком и на его составные элементы по отдельности действуют упомянутые выше горизонтальные силы: движущая сила (или сила тяги)  $F$  и силы сопротивления движению составных частей поезда  $W'$ ,  $W_1''$ , ...  $W_n''$ , а также и вертикальные силы тяжести его составных частей—

вес поезда  $P$  и веса вагонов  $q_1, \dots, q_n$ . Поезд, как система связанных между собой элементов, движется поступательно с общей для всех элементов скоростью  $V$ .

На расчетной схеме 1.2 а отсутствуют несущественные для анализа параметры и показатели, например техническое состояние вагонов и локомотива (достаточно того, что они могут двигаться в составе), их вертикальные и поперечные колебания и т.д., которыми можно пренебречь.

Однако даже принятые во внимание на схеме рис. 1.2.а переменные величины делают их систему неудобной для анализа. Поэтому сделаем несколько последовательных упрощений.

**Этап I.** Объединим условно в одно тело общей массой  $Mq = \sum m_i$  и весом  $Q = \sum q_i$  все вагоны состава. Наличием связей между ними и возможностями относительных перемещений вагонов пренебрегаем.

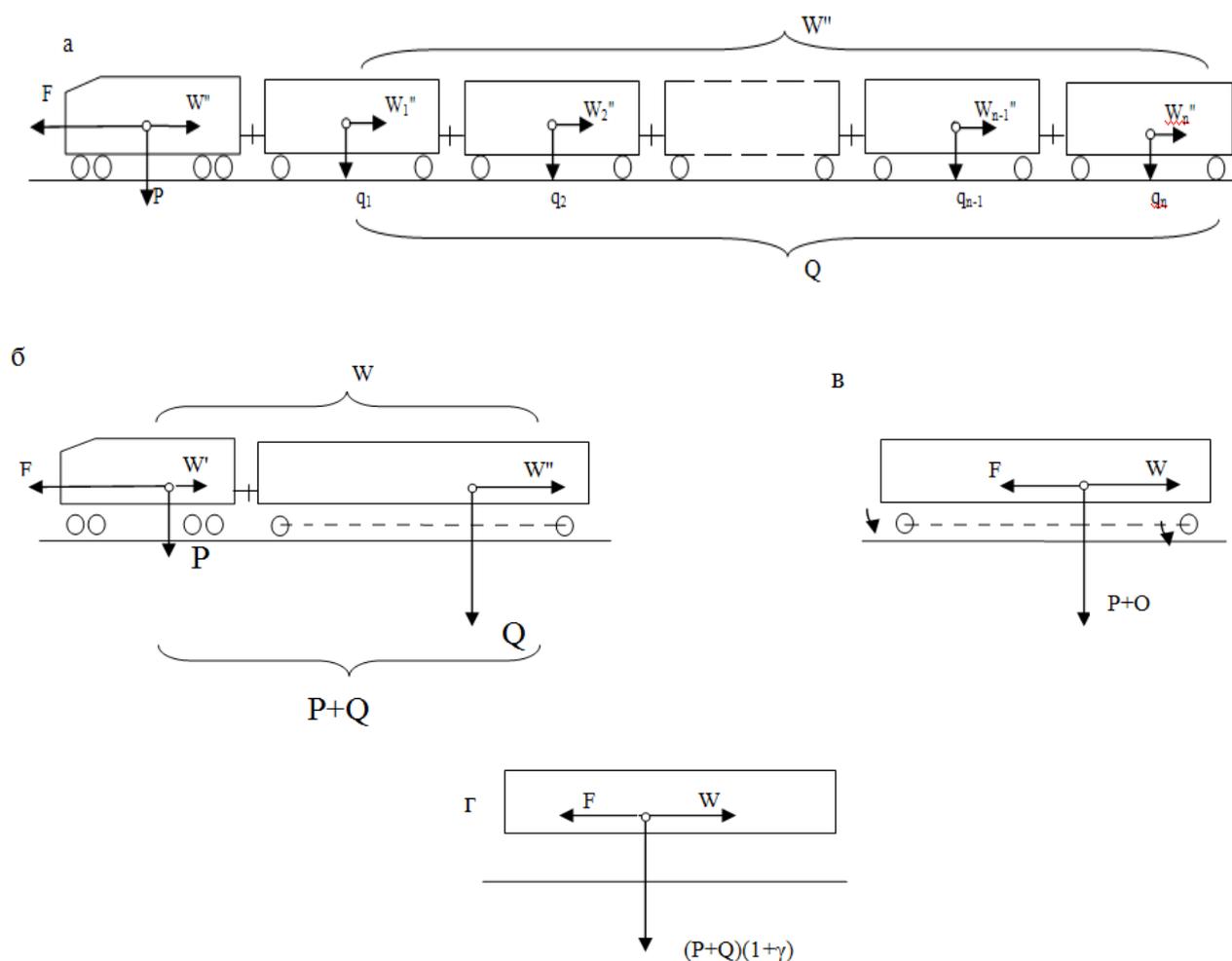


Рис 1.2 Расчетные схемы сил, действующих на поезд при его движении.

Это возможно сделать потому, НТР суммарная работа внутренних сил в поезде равна нулю, так как в любой сцепке при относительных перемещениях действуют взаимно противоположные силы.

Сила общего сопротивления движению состава будет  $W'' = \sum W_i''$

Новая модель поезда теперь представляет собой два связанных тела (локомотив и состав вагонов), движущихся поступательно (рис. 1.2. б). Так как оба тела находятся в движении одно и то же время, проходят одно и то же расстояние (от одной станции до другой), то есть движутся с одной и той же средней скоростью, возможно дальнейшее упрощение.

**Этап 2.** Исходя из этих соображений, представим поезд теперь в виде одного тела общим весом  $(P+Q)$ , на которое действуют горизонтальные силы тяги  $F$  и сопротивления движению  $W$  (рис. 1.2. в).

На этом этапе составления модели обратим внимание на то, что часть массы поезда (колесные пары локомотива и вагонов, якори тяговых электродвигателей локомотива), помимо поступательного движения в составе поезда, совершает вращательное движение, на что затрачивается часть работы движущей силы  $F$ .

**Этап 3.** Исключим из рассмотрения вращающиеся массы, условно увеличивая вес (массу) движущегося поезда умножением его на  $(1 + \gamma)$ , где  $\gamma$ —коэффициент (доля) вращающихся масс в общей массе поезда. В результате получаем одно тело весом  $P(1 + \gamma)$  и массой  $M(1 + \gamma)$ , движущееся поступательно (рис. 1.2. г).

**Этап 4.** Последним этапом моделирования поезда может быть отвлечение от его реальных размеров. Можно посчитать, что, так как все элементы поезда движутся поступательно, его реальные размеры (то есть, длина) не имеют существенного значения для анализа характера его движения. Это позволяет рассматривать движение поезда как движение центра его масс (центра тяжести), то есть как движение известной в механике модели—материальной точки, в которой сосредоточена масса поезда и к которой приложены все действующие на него силы.

Именно такая, внешне очень простая, модель поезда и положена в основу методов тяговых расчетов, предназначенных для использования в практике эксплуатации железных дорог стран СНГ. Это положение зафиксировано в п. 1.4.1 Правил тяговых расчетов: «При определении скорости движения и времени хода поезд принимать за материальную точку, в которой сосредоточена вся его масса. Положение этой точки условно считать в середине поезда».

#### **Контрольные вопросы:**

1. Что изучает теория локомотивной тяги?
2. Основные положения теории тяги поездов.
3. Математическая модель поезда.
4. Физическая модель поезда.
5. Какие силы действуют на движущийся поезд?
6. Режимы движения поезда.
7. Назначение и сущность тяговых расчётов.

#### **Литература.**

1. Кузьмич В.Д., Руднев В.С., Френкель С.Я. Теория локомотивной тяги. - М.: Маршрут, 2005, 448с.
2. Деев В.В. и др. Тяга поездов. – М.: Транспорт, 1987, 264с.
3. Подвижной состав и тяга поездов. Под ред. В.В.Деева и Н.А.Фуфрянского. - М.: Транспорт, 1979, 368с.
4. Бабичков А.М., Гурский П.А., Новиков А.П.. Тяга поездов и тяговые расчёты. – М.: Транспорт, 1971, 280с.
5. Правила тяговых расчётов для поездной работы. – М.: Транспорт, 1985, 288с.

## **Лекция № 8:**

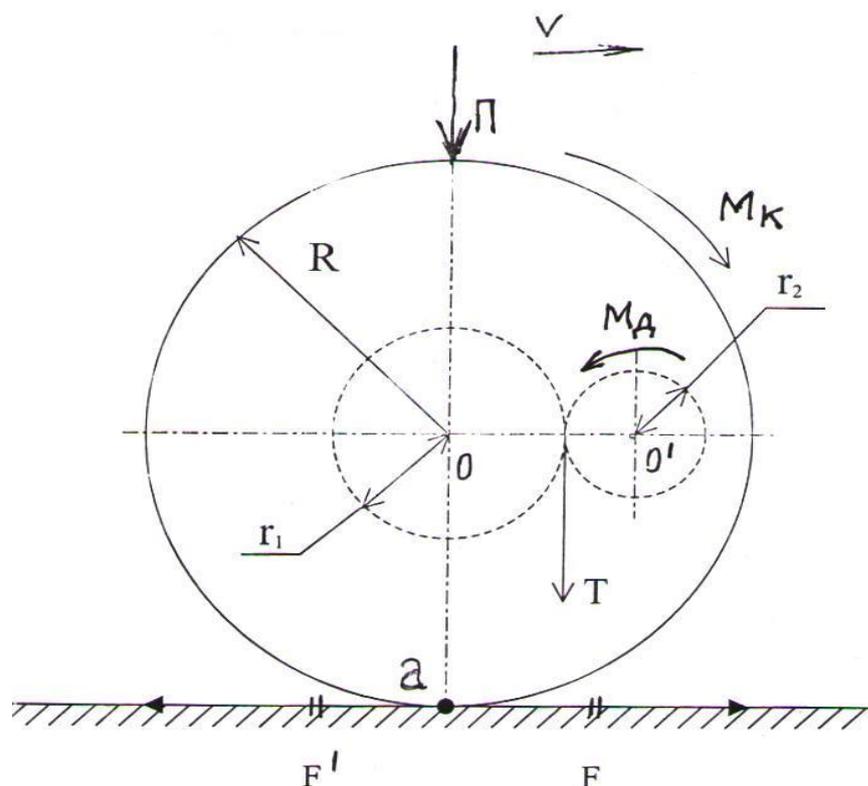
### **Образование силы тяги локомотива и основной закон локомотивной тяги**

#### **План лекции**

1. Образование силы тяги локомотива.
2. Общие сведения об устойчивости движения.
3. Основной закон локомотивной тяги.
4. Расчёт силы тяги локомотива по сцеплению.
5. Коэффициент сцепления.

**Сила тяги локомотива** - это полезная, управляемая, внешняя, касательная сила, возникающая за счёт преобразования подведённой энергии в механическую работу. Упомянутые преобразования могут быть как внутренние, так и внешние.

Рассмотрим процесс возникновения внешней (касательной) силы тяги локомотива с учетом расчетной схемы, приведенной на рис. 8.1.



**Рис.8.1. Процесс образования касательной силы тяги локомотива.**

$\Pi$  - нагрузка на ось колёсной пары;

$R$  - радиус колеса колёсной пары;

$r_1$  - радиус зубчатого колеса;

$r_2$  - радиус шестерёнки;

$T$  – окружное усилие зубчатой передачи, возникающее за счёт работы тягового электродвигателя (ТЭД).

При заданном токе нагрузки тяговый электродвигатель развивает на валу вращающий момент  $M_\partial$ , равный по величине

$$M_\partial = T \cdot r_2 \quad (8.1.)$$

Этот вращающий момент приводит во вращение якорь тягового электродвигателя локомотива (электровоза или тепловоза), например, против часовой стрелки.

А окружное усилие зубчатой передачи составляет

$$T = M_{\partial} / r_2 \quad (8.2)$$

Сила  $T$ , действуя на зубчатое колесо, создает вращающий момент  $M_{\kappa}$ , который без учёта потерь будет равен

$$M_{\kappa} = T \cdot r_1 \quad (8.3.)$$

Вращающий момент  $M_{\kappa}$  - это внутренний по отношению к локомотиву момент, который не может сообщить поступательное движение к колёсной паре (колесу), а приводит во вращение зубчатое колесо, а следовательно колёсную пару локомотива по часовой стрелке.

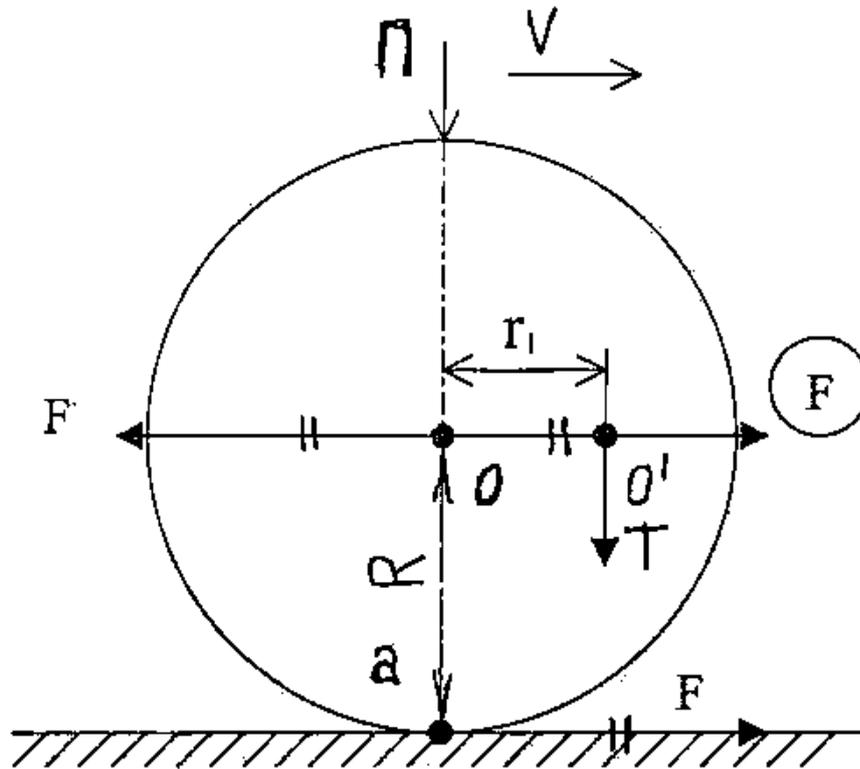
Под воздействием этого вращающего момента в точке “а” возникает сила  $F^1$  по величине равная

$$F^1 = M_{\kappa} / R \quad (8.4.)$$

Точка “а” - точка опоры, в которой при наличии нагрузки  $\Pi$  будет возникать сцепление колеса с рельсом ... (это очевидно).

При этом сила  $F^1$ , приложенная в точку “а” – это внутренняя сила, как бы принадлежащая колесу и подталкивающая рельс в сторону обратную ходу движения колеса (качению) колеса. Сила  $F^1$  не является силой тяги. Однако со стороны рельса возникает реакция, так как он не подвижен, то есть «пришит», которая направлена по ходу движения колеса и приложена в точке “а”  $F^1 = F$ . Это сила  $F$  реакция рельса, которая является внешней касательной силой (так как она принадлежит рельсу).

**Докажем, что сила  $F$  является силой тяги локомотива с помощью схемы сил, приведенных на рис. 8.2.** Перенесём силу  $F$  на ось колёсной пары, выразив её через пару сил. Используя зависимости, приведённые выше, имеем:  $T \cdot r_1$  - момент внутренних сил,  $F \cdot R$  - момент внешних сил. При этом  $T \cdot r_1 = F \cdot R$ .



**Рис.8.2. Схема сил, поясняющая образование касательной силы тяги локомотива.**

Момент от пары сил уравнивается крутящим моментом внутренних сил и остаётся сила  $\textcircled{F}$ , приложенная к оси колёсной пары и направленная по ходу движения колеса. **Следовательно:** сила  $\textcircled{F}$ , перенесённая на ось колёсной пары и будет являться касательной силой тяги, которая возникает на каждой колёсной паре локомотива. Эта оставшаяся неуравновешенная сила  $\textcircled{F}$ , приложенная в центре колесной пары, передаётся через буксу на раму локомотива и создаёт поступательное движение.

Таким образом:

$$F_k = \sum \textcircled{F} - \text{внешняя касательная сила тяги локомотива.}$$

Касательной силой тяги локомотива  $F_k$  называют сумму сил, развиваемых на ободе колёс каждой колёсной пары (сумма всех сил движущих колёс.)

Сила  $F$  является внешней для локомотива, так как она действует на колесо, которое закреплено (благодаря сцеплению колёс с рельсами) на рельсе в точке мгновенного центра вращения “а” и составляет вместе с рельсами единую систему – внешнюю по отношению к локомотиву. Поэтому сила  $F$  является движущей силой локомотива, а так как для удобства расчётов условились относить все силы, определяющие движение поезда, к ободам движущих колёс, то касательной силой тяги считают силу  $F$ , равную по величине силе  $F$ , т.е.  $F = F$ . За счёт трения в зубьях сила  $T$ , действуя на зубчатое колесо, создает вращающий момент  $M_3$ , несколько меньший, чем упомянутый выше момент  $M_k$ , т.е.

$$M_3 = T \cdot r_1 \cdot \eta_3 = \frac{M_\partial}{r_2} \cdot r_1 \cdot \eta_3 = \mu M_\partial \eta_3 \quad (8.5)$$

где  $\eta_3$  - к.п.д. учитывающий потерю мощности в зубчатой передаче и моторно-

осевых подшипниках тягового электродвигателя;

$\mu$  - передаточное число.

В свою очередь вращающий момент  $M_3 = F \cdot R$ , откуда касательная сила тяги, создаваемая одним тяговым электродвигателем, составляет величину

$$F = \frac{\mu M_\partial}{R} \cdot \eta_3 \quad (8.6.)$$

А касательная сила тяги всего локомотива  $F_k$  будет равна сумме сил всех движущих колёс, т.е.  $F_k = \sum F$ .

Качение колёс приводит к поступательному движению локомотива со скоростью

$$V = \frac{\pi D_k n_k \cdot 60}{1000} = 0,188 D_k \cdot n_k = 0,188 \frac{D_k n}{\mu} \quad (8.7)$$

где  $D_k$  - диаметр колеса, м;

$n_k$  - частота вращения колеса, об/мин;

$n$  - частота вращения вала тягового электродвигателя и шестерни, об/ми.

Кроме касательной силы тяги, различают так же силу тяги на авто сцепке  $F_n$ , которая приложена к сцепке локомотива.

Измерить касательную силу тяги  $F_k$  практически невозможно. Поэтому динамометром измеряют силу тяги на сцепке первого к локомотиву вагона  $F_\partial$  - динамометрическая сила тяги. Упомянутая сила  $F_\partial$  меньше силы тяги  $F_k$  на величину сил сопротивления движения  $W_\Lambda (W^1)$  и сил инерции  $m_\Lambda \frac{dv}{dt}$  - самого локомотива (где  $m_\Lambda$  - масса локомотива; а  $\frac{dv}{dt}$  - ускорение локомотива).

По величинам фиксированных  $F_\partial$  и  $V$  определяют величину

$$F_k = F_\partial + W_\Lambda \pm m_\Lambda \frac{dv}{dt} \quad (8.8)$$

В случае равномерного движения  $\frac{dv}{dt} = 0$  к составу от локомотива будет передаваться сила  $F_n = F_k - W_\Lambda$ , которую называют силой тяги на сцепке.

У тепловозов различают индикаторную силу тяги  $F_i$ , которая определяется из условия, что её работа за один оборот движущих колёс равна работе газа в цилиндрах дизеля. Так как действительным местом приложения индикаторной силы тяги являются поршни дизеля, а не обода колёс, поэтому перенос её без каких либо потерь условен. Другими словами, тепловоз

развивал бы индикаторную силу  $F_i$  на ободу колёс только в том случае, когда при передаче работы газов от поршней дизеля к колёсам отсутствовали бы всякие потери.

Если все потери (механические потери в самом дизеле, расхода энергии на вспомогательные нужды тепловоза - холодильник, компрессор, зарядка аккумуляторной батареи и другие, а также потери в передаче) учесть условным механическим коэффициентом полезного действия тепловоза  $\eta_M$ , то

$$F_k = F_i \cdot \eta_M \quad (8.9)$$

Отсюда имеем механический к.п.д. тепловоза  $\eta_M = F_k / F_i$

### **Зависимость силы тяги локомотива от сцепления движущих колёс его с рельсами.**

Вначале напомним о точке “а”, в которой при наличии нагрузки П возникает сцепление колеса с рельсом ....

Рассматривая процесс образования силы тяги локомотива в условиях устойчивого движения (“штатный режим” эксплуатации локомотива) предполагалось, что движущая сила, создаваемая двигателем на ободах колёсной пары, равна силе сцепления колёс с рельсами. Однако, величина силы сцепления имеет свои пределы (ограничения) и если сила, создаваемая двигателем, превысит силу сцепления, то колеса начнут боксовать. Явление боксования представляет собой процесс возмущенного движения локомотива, при котором качение колёс сопровождается избыточным скольжением в зоне контакта (точки “а”) с рельсами. Скорость скольжения  $V_{ск}$  равна разности окружной скорости колеса  $V_k$  и скорости поступательного движения локомотива  $V$ , т.е.  $V_{ск} = V_k - V$ .

Увеличение  $V_{ск}$  приводит к снижению коэффициента трения и силы сцепления колёс с рельсами. В этой связи уменьшается сила тяги, движущая поезд, а часть энергии тяговых электродвигателей расходуется на увеличения частоты вращения боксующих колёсных пар (осей). При большом сопротивлении движению поезда от подъёма возникает возможность остановки поезда на перегоне, а непрерывное возрастание скорости вращения

движущих колёс локомотива при боксовании имеет опасные и необратимые последствия, а именно: излом зубчатой передачи, разрыв бандажей якоря тягового электродвигателя, круговой огонь на коллекторе и т.д. Кроме того, в процессе боксования происходит интенсивный износ рельсов и движущих колёс, а толчок силы тяги в момент прекращения боксования может привести к повреждению автосцепки и вагонных рам.

С целью исключения опасных явлений, обуславливающих боксование, установлены технические условия устойчивого движения локомотива, которые описываются следующими неравенством

$$F_{к\max} \leq 1000\psi_0 P_{сц} \quad (8.10),$$

где  $\psi_0$  - потенциальный коэффициент сцепления движущих колёс локомотива

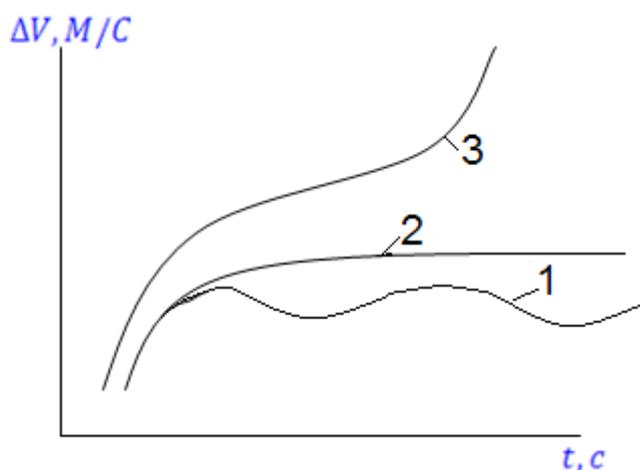
с рельсами, который определяют как отношение наибольшей (на пределе сцепления – без боксования) касательной силы тяги  $F_{к\max}$  к сцепному весу локомотива  $P_{сц}$ , т.е.  $\psi_0 = F_{к\max} / P_{сц}$

Этот коэффициент характеризует наибольшую (максимальную) силу тяги, реализуемую движущими колёсными парами без боксования – его определяют, при статических условиях без учёта реальных условий движения колёсных пар, конструкции механической и электрической частей локомотива. В действительности сила сцепления движущих колёсных пар с рельсами изменяется из-за перераспределения нагрузок от осей на рельсы в процессе реализации тягового усилия. Сила тяги локомотива в этот момент ограничена боксованием оси, имеющей наименьшую силу сцепления колёс с рельсами.

Неравенство (8.10) выражает закон сцепления движущих колёс локомотива с рельсами или основной закон локомотивной тяги – для обеспечения устойчивого движения локомотива касательная сила тяги на ободах движущих (ведущих) колёс, создаваемая тяговыми электродвигателями, не должна превосходить (превышать) силу сцепления упомянутых колёс с рельсами.

Основной закон локомотивной тяги, характеризующий ограничительные условия устойчивого движения локомотива, имеет прикладное значение и представляет собой техническое приложение общей теории устойчивости движения академика А.М.Ляпунова.

Рассмотрим эти условия по Ляпунову. Из механики известно, что движение системы можно рассчитать, если заданы силы, действующие на систему и состояние системы, т.е. начальная скорость и координаты. В технических расчётах движения поезда нельзя принимать предельной силе сцепления движущих колёс с рельсами, соответствующей потенциальному коэффициенту сцепления  $\psi_0$ , так как в этом случае движение будет неустойчивым. Действительно, в процессе движения возникают возмущающие воздействия, которые невозможно учесть в расчётах вследствие случайности их возникновения, а так же малости, по сравнению с основными силами. Очевидно, что характер воздействия может быть различным, а именно: либо при резком наборе позиций контроллера машиниста касательная сила тяги на ободах колёс превысит силу сцепления -  $\psi_0 P_{сц}$ , либо при постоянной позиции контроллера машиниста резко снизится сила сцепления движущих колёс с рельсами ввиду загрязнённости последних. Поэтому в том и другом случае может возникнуть боксование. На рис.2.3 показаны графические зависимости, характеризующие изменение скорости скольжения колёс локомотива с течением времени его движения, где обозначено: 1,2 – при устойчивом движении; 3- при разном боксовании.



**Рис.8.3. Скорость скольжения колёс локомотива.**

Если скорость скольжения колёс по рельсам получит малые приращения вследствие случайных малых возмущающих воздействий, то такое движение

называется возмущенным. Если приращение скорости скольжения колёс при возмущённым движением несущественно, то такое движением является невозмущенным движением, которое называется устойчивым. Если же при сколь угодно малом возмущении величина скорости скольжения колёс все время отклоняется от значений при невозмущенном движении, то невозмущенное движение называется неустойчивым по Ляпунову. В эксплуатации тягового подвижного состава разносным боксованием называют возмущенное движение, при котором скорость скольжение движущих колёс локомотива непрерывно возрастает.

**Расчёт силы тяги локомотива по сцеплению.** Касательная ила тяги локомотива, величина которой ограничивается сцеплением движущих колёс локомотива с рельсами, называется силой тяги локомотива по сцеплению или силой сцепления -  $F_{к сцепл} (F_{к сцепл})$ .

Известно, что неустойчивые системы не могут обеспечивать реализацию заданных характеристик, опасны и вредны в работе, поэтому они являются практически неработоспособными. Для обеспечения устойчивости против боксования в тяговых расчётах принято пользоваться сцепным весом  $P_{сц}$  локомотива и расчётным коэффициентом сцепления движущих колёс локомотива с рельсами  $\psi_k$ , величина которого меньше потенциального коэффициента сцепления  $\psi_0$ .

При этом сила тяги локомотива по сцеплению определяется из выражения

$$F_{к сцепл} = 1000\psi_k P_{сц} \quad (8.11)$$

Расчётный коэффициент сцепления  $\psi_k$  определяется опытным путём и представляет собой отношение наибольшей, надёжно реализуемой в условиях эксплуатации (без явлений боксования), касательной силы тяги к сцепному весу локомотива, т.е. статической нагрузке движущих колёс на рельсы. Поэтому, если силу тяги по сцепления определили по выражению (8.11) и движение поезда рассчитали с учётом этой силы, то движение, которое должен совершать локомотив по этим расчётом, будет невозмущенным движением по Ляпунову. Если же в реальных условиях, эксплуатации поезд будет испытывать случайные воздействия, которые не были учтены в расчетах, то численное приращение скорости скольжения колёс локомотива по рельсам не должно быть большим и возрастающим по

времени, что исключает возникновение явления боксования. Таким образом, невозмущенное движение поезда, полученное расчётом путём, будет устойчивым по отношению к скорости скольжения движущих колёс по рельсам.

Однако в реальных условиях эксплуатации локомотивы всё-таки боксуют. Это происходит в тех случаях, когда нарушается нормальный режим регулирования или допущены отступления от норм технического состояния устройств, например: резкое увеличение силы тяги при разгоне поезда машинистом, чрезмерно большой износ рельсов и колёс, резкие колебания тока и напряжения тяговых электродвигателей, резкое снижение коэффициента сцепления в результате загрязнения рельсов и другие. Поэтому в целях обеспечения устойчивого движения поезда необходимо определять силу тяги локомотива по величине расчетного коэффициента сцепления  $\psi_k$ , который учитывает все отклонения действительного коэффициента сцепления и изменения динамических сил и нагрузок от движущих осей на рельсы в процессе реализации силы тяги. Величина расчетного коэффициента сцепления определяется в зависимости от скорости и вида тяги на основании исследований, опытных поездок и достижений передовых машинистов.

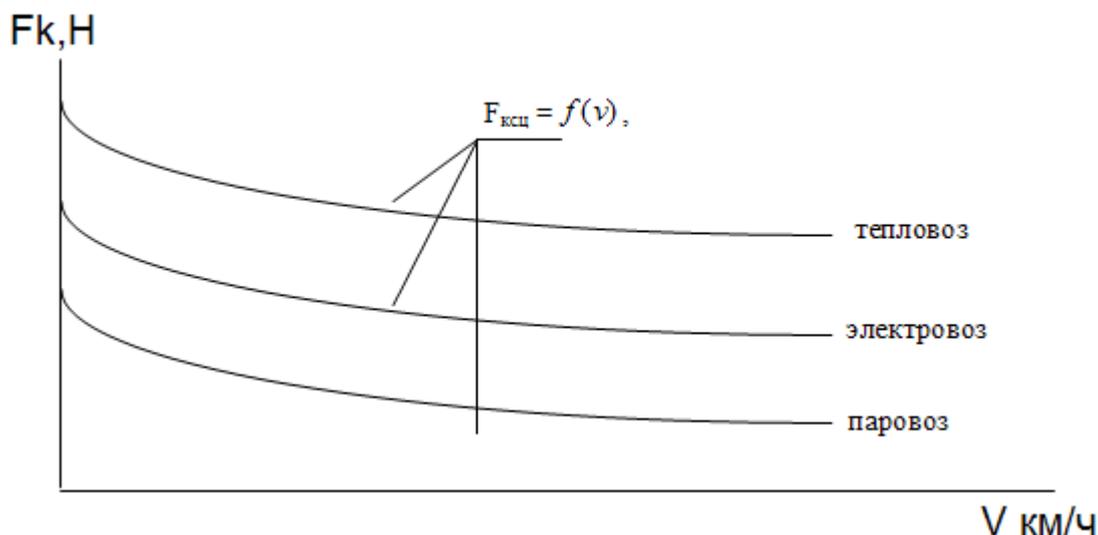
Правила тяговых расчётов для поездной работы [5] рекомендуют предложенные ВНИИЖТ эмпирические формулы типа

$$\psi = a + \frac{b}{c + dv} \quad (8.12)$$

где  $a$ ,  $b$  и  $c$  - постоянные, значения которых на основе экспериментальных исследований дифференцированы для различных серий локомотивов в зависимости от скорости движения.

Величина расчетного коэффициента сцепления  $\psi_k$  с увеличением скорости движения  $V$  уменьшается и наоборот, увеличивается с уменьшением последней.

Опираясь на выражение (8.11), при  $P_{сц} = \text{const}$ , можно записать –  $F_{кц} = f(v)$ , т.е. сила тяги локомотива по сцеплению зависит от скорости движения поезда, характер зависимости которой для различных типов локомотивов на рис.2.4.



**Рис.8.4. Сила тяги по сцеплению для различных локомотивов.**

Кроме того, Правила тяговых расчётов для поездной работы [5] устанавливают, что при наличии кривых малого радиуса на крутых подъёмах расчётные значения коэффициентов сцепления следует уменьшить пропорционально поправочному коэффициенту  $K_{кр}$ , зависящему от радиуса кривой  $R - \psi_{ккр} = \psi_k K_{кр}$ . Значения поправочного коэффициента определяют по формулам:

- для электрической тяги на кривых радиусом менее 500 м

$$K_{кр} = \frac{250 + 1,55R}{500 + 1,1R} \quad (8.13)$$

- при тепловозной тяге на кривых радиусом менее 800 м

$$K_{кр} = \frac{3,5R}{400 + 3R} \quad (8.14)$$

### Контрольные вопросы:

1. Сила тяги локомотива и её сущность.
2. Расчётная модель и процесс образования касательной силы тяги локомотива.
3. Как определить величину касательной силы тяги локомотива.

4. Приведите пояснения по силе тяги на автосцепке и индикаторной силе тяги тепловоза.
5. Что такое боксование колёсных пар локомотивов и к чему оно может привести.
6. Приведите технические условия устойчивого движения локомотива.
7. Основной закон локомотивной тяги и его сущность.
8. По какому критерию оценивается устойчивость движения.
9. Ограничительные условия устойчивого движения локомотива по А.М.Ляпунову.
10. Что представляет собой сила тяги локомотива по сцеплению и как её определяют.
11. Потенциальный (физический) и расчётный коэффициент сцепления движущих колёс локомотива с рельсами.
12. Как и чем оценивается сила тяги по сцеплению.
13. Как влияют кривые участки малого радиуса на расчётные значения коэффициентов сцепления.

### **Литература**

1. Кузьмич В.Д., Руднев В.С., Френкель С.Я. Теория локомотивной тяги. - М.: Маршрут, 2005, 448с.
2. Деев В.В. и др. Тяга поездов. – М.: Транспорт, 1987, 264с.
3. Подвижной состав и тяга поездов. Под ред. В.В.Деева и Н.А.Фуфрянского. - М.: Транспорт, 1979, 368с.
4. Бабичков А.М., Гурский П.А., Новиков А.П.. Тяга поездов и тяговые расчёты. – М.: Транспорт, 1971, 280с.
5. Правила тяговых расчётов для поездной работы. – М.: Транспорт, 1985, 288с.

### **Лекция № 9:**

#### **Тяговые и токовые характеристики локомотивов**

##### **План лекции**

1. Тяговая характеристика автономного локомотива.
2. Сила тяги тепловоза по дизелю.
3. Сила тяги тепловоза по электрической передаче.
4. Тяговые и токовые характеристики тепловозов с электрической передачей.
5. Построение тяговой характеристики тепловоза с электрической передачей.
6. Опытные тяговые характеристики тепловозов с электрической передачей.
7. Тяговые характеристики тепловозов с гидравлической и механической передачей.

Тяговой характеристикой локомотива называется графическая зависимость касательной силы тяги локомотива от скорости движения

$F_k = f(v)$  при различных режимах работы его энергосилового устройства в пределах допускаемых ограничений по надёжности, устойчивости и безопасности движения.

С точки зрения математических методов теории оптимального управления касательная сила тяги локомотива является управляющим воздействием поезда (входом), сопротивление движению поезда – возмущающим воздействием (входом), а скорость движения – есть регулируемая величина (выход).

Тяговые характеристики локомотивов являются статическими, так как получены экспериментальным путём при равновесном взаимодействии упомянутых выше воздействий и движения с равномерной скоростью. Поэтому расчёты скорости движения поездов, выполняемые с использованием тяговых характеристик, не учитывают переходные (динамические) процессы.

В условиях эксплуатации переменные состояния поезда и локомотива изменяются во времени, т.е. преобладают динамические процессы тяги, которые определяются реальными условиями перевозочной работы, а именно: профилем пути, массой и ходовыми свойствами поездов, их организацией движения и т.д. В этой связи динамические процессы нельзя изобразить графически на тяговой характеристике потому, что они являются переменными во времени и всецело зависят от конкретных условий движения. Таким образом, использование статических характеристик при выполнении тяговых расчётов является необходимым упрощающим допущением.

По своей сути упомянутая графическая зависимость может иметь линейные и нелинейные графики участков тяговых характеристик, несколько простейших возможных вариантов форм которых показаны на рис.9.1, где обозначено: линейное постепенное возрастание силы тяги в диапазоне скорости движения от  $V_1$  до  $V_2$  по уравнению  $F = F_1 + KV$  (отрезок 1-2); такое же линейное убывание силы тяги по уравнению  $F = F_1 - KV$  (отрезок 1-

4) и промежуточный вариант – постоянство силы тяги  $F = F_1 = \text{const}$  в том же диапазоне скоростей (линия 1-3).

Далее выясним какая форма графической зависимости наилучшим образом будет отвечать требованиям эффективного использования автономных локомотивов в реальных условиях эксплуатации.

Оценку степени пригодности той или другой формы осуществляем по величине необходимой мощности локомотивов с такими характеристиками.

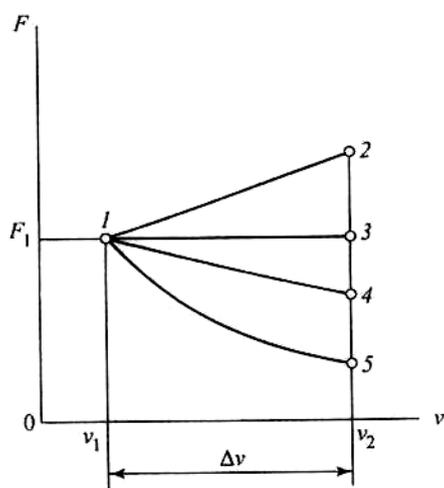


Рис. 3.1 Возможные варианты формы тяговых характеристик

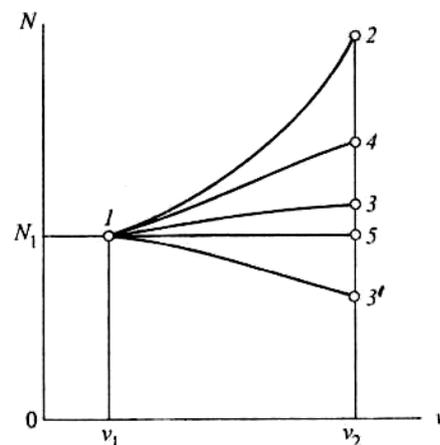


Рис. 3.2 Зависимости необходимой мощности локомотива от скорости движения при различных вариантах формы тяговой характеристики

Мощность  $N$  - это работа  $A$  в единицу времени  $t$ , то есть  $N = A/t$  и при равномерном движении её можно представить как  $N = FS/t = Fv$  - произведение силы на скорость.

Тогда, по первому варианту характеристики (линия 1-2 на рис.9.1), если  $k > 0$ , мощность локомотива должна возрасть по мере увеличения скорости движения пропорционально квадрату её приращения:

$$N = N_1 + k(v_2 + v_1)$$
, где  $N_1 = F_1 v_1$  - мощность в исходной точке 1 (рис.9.2, кривая 1-2).

По второму варианту ( $k < 0$ ), если величина  $k$  невелика, то необходимая мощность может также даже несколько возрасть (за счёт роста скорости) – кривая 1-3 на рис 9.2. При относительно больших значениях коэффициента  $k$

требуемая мощность локомотива может и уменьшаться с ростом скорости движения – кривая 1 – 3<sup>1</sup>.

Для обеспечения постоянной величины силы тяги в рассматриваемом диапазоне скоростей движения  $F_1 = const$  необходимая касательная мощность локомотива  $N$  должна возрастать прямо пропорционально скорости движения  $V$ , то есть  $N = F_1 v$  – прямая 1-4 на рис.9.2 .

Известно, что касательная мощность на движущих колёсах тепловоза, равно как и любого другого типа автономного локомотива (паровоза, газотурбовоза), прямо пропорциональна мощности его энергосиловой установки

$$N_k = N_e (1 - \beta) \cdot \eta_{\text{пер}} \quad (9.1.)$$

где  $N_e$  -эффективная (на коленчатом вале дизеля) мощность, кВт;

$\beta$  - коэффициент, учитывающий расход мощности на привод вспомогательного оборудования тепловоза,  $\beta = 0,88 \dots 0,90$ ;

$\eta_{\text{пер}}$  – коэффициент полезного действия передачи тепловоза,  $\eta_{\text{пер}} = 0,84 \dots 0,85$ .

Величина номинальной (расчётной) мощности энергосиловой установки автономного локомотива ограничена её свойствами. Тепловозные дизели не допускают перегрузки и, следовательно,  $N_{e_{\text{макс}}} = N_{e_{\text{ном}}} = const$ . А раз наибольшая мощность источника энергии неизменна, то целесообразно к проектированию локомотива подходить так, чтобы эту величину мощности всегда (с соответствующими поправками) можно было бы реализовать на движущих колёсных парах. Поэтому необходимо стремиться к тому, чтобы наибольшая возможная величина касательной мощности тепловоза так же могла быть использована при любой величине скорости, то есть чтобы соблюдалось аналогичное равенство  $N_{k_{\text{макс}}} = N_{k_{\text{ном}}} = const$  –это можно обеспечить при полном использовании мощности дизеля (считая, что произведение  $(1 - \beta) \eta_{\text{пер}}$  мало зависит от скорости движения и может

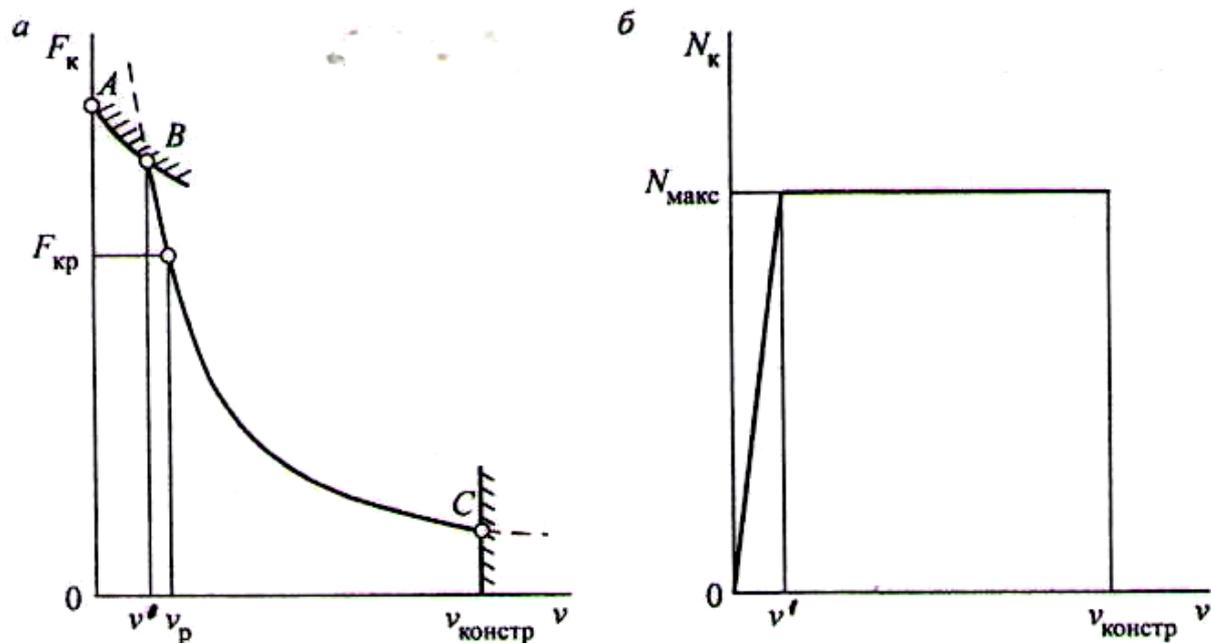
поэтому считаться неизменным) в рабочем диапазоне скоростей движения локомотива.

Тогда для автономного локомотива и для тепловоза, в частности, при выборе формы тяговой характеристики следует исходить из условия постоянства касательной мощности локомотива в рабочем диапазоне скоростей движения. Однако, если принять условия  $N_{\kappa} = F_{\kappa} V = const$ , то для касательной силы тяги получим выражение  $N_{\kappa} = F_{\kappa} / V = const / V$ .

Условие  $F_{\kappa} v = const$  представляет собой уравнение гиперболы в координатах  $F_{\kappa}$  и  $V$ . Таким образом, если тяговая характеристика тепловоза  $F = f(v)$  будет иметь форму гиперболы (то есть если сила тяги обратно пропорциональна скорости - кривая 1-5 на рис.9.1.), касательная мощность локомотива будет постоянной при изменении скорости движения (см.рис.9.2. прямая линия 1-5).

Эта зависимость касательной силы тяги от скорости и является идеальной формой тяговой характеристики автономного локомотива, энергосиловая установка которого ограничена по мощности (рис.8.3,а). Такая характеристика на тепловозе теоретически обеспечивает возможность полного использования мощности дизеля в рабочем диапазоне скоростей движения. При проектировании тепловозов с различными типами передач перед конструкторами стоит задача наиболее полного приближения тяговой

характеристики к идеальной гиперболической форме.



**Рис. 3.3** Идеальная форма тяговой характеристики автономного локомотива: *а* — идеальная тяговая характеристика; *б* — зависимость тяговой (касательной) мощности локомотива от скорости движения при идеальной форме его тяговой характеристики

Максимальная величина скорости движения локомотива  $V_{макс}$  ограничивается, прочностью его конструкции и называется конструкционной скоростью локомотива  $V_{констр} = V_{макс}$ . Это ограничение показано на характеристике вертикальной чертой.

Максимальная величина силы тяги ограничивается основным законом локомотивной тяги, опираясь на который, она определяется значениями расчётного коэффициента сцепления. Максимальное значение допускаемой силы тяги имеет место при трогании локомотива с места. Ограничение по величине силы тяги по условиям сцепления также показано на характеристике своего рода границей (линия АВ). Она не горизонтальна и снижается по мере роста скорости, так как уменьшается величина расчётного коэффициента сцепления.

Линия ограничения по сцеплению пересекается с гиперболической частью характеристики в точке В, которой соответствует величина скорости  $V^1$ . Эту скорость, при которой происходит как бы перелом характеристики для паровозов, называли скоростью порога.

Таким образом, идеальная тяговая характеристика автономного локомотива состоит из двух частей: ограничение силы тяги по сцеплению АВ

(диапазон скоростей от 0 до  $V^1$ ) и участок гиперболы BC – ограничение силы тяги по мощности энергосиловой установки (диапазон скоростей от  $V^1$  до  $V_{констр}$ ).

Так как гиперболической является только часть характеристики, то условие постоянства касательной мощности локомотива обеспечивается в диапазоне скоростей движения  $V^1 - V_{констр}$  (рис.3.3.б). Этот диапазон можно назвать рабочим для локомотива.

В диапазоне скоростей движения от 0 до  $V^1$  мощность энергосиловой установки локомотива из-за ограничения величины силы тяги по сцеплению полностью использована быть не может, а в самом начале координат (при  $v=0$ ) она вообще равна нулю. Поэтому работа локомотива в этом диапазоне скоростей: является неэффективной и его можно считать нерабочим.

При проектировании локомотивов общепринятым является рабочий диапазон скоростей движения начинать со скорости  $V_p$ , которая несколько выше скорости  $V^1$ , что вследствие случайности величины коэффициента сцепления предопределяет некоторую гарантию расчётной силы тяги  $F_{кр}$  автономного локомотива. При этом скорость  $V_p$ , соответствующая расчётному значению силы тяги  $F_{кр}$ , называется скоростью движения на расчётном подъеме или, точнее, расчётной скоростью.

Чтобы говорить о графическом виде тяговой характеристики тепловозов следует рассмотреть ограничения силы тяги и мощности последних по дизелю, тяговой передаче, сцеплению движущих колёс с рельсами (изложено выше, лекция 2) и конструкционной скорости.

**Сила тяги тепловоза по дизелю.** В связи с тем, что энергетически неэффективно и экономически невыгодно конструировать дизели мощностью, соответствующей предельной тяговой характеристике по сцеплению и конструкционной скорости, необходимо знать ограничения по дизелю, на степень и характер которых при заданной мощности будут оказывать влияние параметры и режимы его работы.

Касательная мощность тепловоза  $N_k$ , приведенная к ободам движущих колёсных пар, может быть определена по формуле

$$N_k = m_d N_e \beta \eta_{пер} \quad (9.2)$$

где –  $M_d$  - число дизелей тепловоза, шт.

$N_e$  - эффективная мощность дизеля , кВт

$\beta$  - коэффициент, учитывающий затраты мощности на вспомогательные

агрегаты тепловоза;

$\eta_{пер}$  - коэффициент полезного действия передачи от дизеля до двигающих колёс тепловоза.

Также касательная мощность тепловоза  $N_k$  определяется при помощи параметров тяговой характеристики из следующего равенства

$$N_k = F_k V / 3,6 \quad (9.3)$$

где  $F_k$  - касательная сила тяги, кН;

$V$  - скорость движения, км/ч.

Приравняем выражения (9.2) и (9.3) и получим касательную силу тяги тепловоза по дизелю

$$F_k = 3,6 \frac{m_d \cdot N_e}{V} \beta \eta_{пер} \quad (9.4)$$

Из анализа выражения (9.4) вытекает, что произведение касательной силы тяги  $F_k$  на скорость движения  $V$  - есть постоянная величина, т.е.  $F_k V = \text{const}$  и в этом случае форма участка тяговой характеристики тепловоза, как ограничение по дизелю, представляет собой кривую близкую к гиперболу.

Действительно коэффициенты  $\beta = \text{const}$ ,  $\eta_{\text{пер}} = \text{const}$  и эффективная мощность дизеля  $N_e = f(\Pi_k) = \text{const}$ , так как при фиксированной позиции  $\Pi_k$  контроллера машиниста рейки топливных насосов дизеля, находясь в одном и том же положении, обеспечивают постоянную подачу топлива (расход топлива на позиции  $C_r = \text{const}$ ), а частота вращения коленчатого вала дизеля  $n_c = \text{const}$ , также не изменяется.

Основной характеристикой тепловозного дизеля является эффективная (на коленчатом вале дизеля) мощность  $N_e$ , которая может быть определена по следующей формуле

$$N_e = \frac{100}{3} \frac{P_e V_h Z n_c}{\tau} \quad (9.5)$$

где  $100/3$  – коэффициент, зависящий от единиц измерения;

$P_e$  – среднее эффективное давление, МПа;

$\tau$  – тактность дизеля;

$Z$  – число цилиндров;

$V_h$  – рабочий объём цилиндра тепловозного дизеля,  $\text{м}^3$ .

После подстановки в выражение (8.4) получим формулу для определения касательной силы тяги по дизелю.

$$F_k = \frac{m_d V_h Z}{R} \cdot \frac{n_c}{v} P_e \beta \eta_{\text{пер}} \quad (9.6)$$

Здесь,  $V_h = \frac{\Pi D}{4} S$  и  $P_e = P_i \cdot \eta_m$

где  $D$  – диаметр цилиндра м;

$S$  – ход поршня, м;

$P_i$  – среднее индикаторное давление, МПа;

$\eta_M$  - механический коэффициент полезного действия дизеля.

Так как перегрузочная способность дизеля в расчёт не принимается из-за её незначительной величины, поэтому в тяге поездов номинальная мощность дизеля соответствует его наибольшей мощности и которая задаётся родом службы и условиями эксплуатации тепловозов.

Кроме того, подача топлива на рабочий цикл дизеля и частота вращения его коленчатого вала определяют режим работы энергосилового устройства, а также силу тяги и скорость движения тепловозов.

Здесь уместно будет рассмотреть одно из основных свойств тепловозного дизеля, влияющее на тяговые свойства автономного локомотива.

Формула (9.5) показывает, что в реальных условиях эксплуатации возможно управлять работой дизеля, изменяя только два параметра – частоту вращения коленчатого вала дизеля  $n_c$  и среднее эффективное давление  $P_e$ . Таким образом, формула (9.5) можно представить как

$$N_e = C_1 p_e n_c \quad (9.8)$$

где -  $C_1$  коэффициент, учитывающий влияние постоянных параметров на эффективную мощность дизеля, который определяется из выражения

$$C_1 = \frac{100V_h Z}{3\tau} \quad (9.9)$$

Однако, если допустить, что тепловозный дизель работает в неизменном режиме и расход топлива на позиции  $P_k$  не изменяется ( $G_T = const$ ), то, в

этом случае, среднее эффективное давление имеет постоянное значение  $P_e = const$ .

Поэтому выражение (9.8) преобразуется в уравнение прямой, проходящей через начало координат, т.е.

$$N_e = C_2 n_c \quad (9.10)$$

где  $C_2$  - постоянный коэффициент, равный  $C_2 = C_1 P_e$ .

Следовательно, при постоянной подаче топлива эффективная мощность дизеля прямо пропорциональна частоте вращения его коленчатого вала.

Тяговые характеристики тепловозов построены для стандартных (нормальных) атмосферных условий, отклонение температуры наружного воздуха и атмосферного давления от которых вызывает изменения весового заряда воздухом цилиндров среднего индикаторного давления и мощности дизеля. В таких случаях учитывают изменение касательной силы тяги тепловоза в зависимости от атмосферных условий и перестраивают тяговую характеристику по формуле

$$F_k = F_{k0} (1 - k_t - k_p) \quad (9.11)$$

где  $F_{k0}$  – сила тяги при стандартных (нормальных) атмосферных условиях;

$k_t$  – коэффициент, учитывающий снижение мощности дизеля от изменения температуры наружного воздуха,  $k_t = 0$  при  $t_{нв} \leq 20^\circ C$ ;

$k_p$  – коэффициент, учитывающий снижение мощности дизеля от изменения атмосферного давления,  $k_p = 0$  при  $P_{бар} \geq 760$  мм. ртутного столба.

Температуру и давление атмосферного воздуха учитывают в расчетах исходя из статистических данных метеорологических станций прошедших

лет (в среднем за последние пять лет). Вследствие суточных колебаний средняя температура определяется так

$$t_{\text{нв}} = (t_7 + 2t_{13} + t_{19})/4 \quad (9.12)$$

где  $t_7$ ,  $t_{13}$ ,  $t_{19}$  – соответственно, температуры атмосферного воздуха в 7, 13, 19 часов местного времени.

**Сила тяги тепловоза по электрической передаче.** При постоянстве мощности тепловозного дизеля  $N_e$  и частоте вращения его коленчатого вала  $N_e$  и частоте вращения его коленчатого вала  $n_c$  характер зависимости силы тяги тепловоза от скорости движения определяется типом тяговой передачи, т.е. специальными промежуточными устройствами, которые приспособливают упомянутый дизель к условиям работы на локомотиве.

В зависимости от способа преобразования и средств передачи энергии от дизеля к движущим колёсным парам и конструктивного исполнения на тепловозах можно применять следующие типы тяговых передач: непосредственные, газовые, механические, электрические и гидравлические.

**Непосредственными** называются передачи, позволяющие соединить кинематически вал дизеля и оси колёсных пар через зубчатые колёса и карданные валы т.е. непосредственно. У тепловозов с такой передачей сила тяги остаётся примерно постоянной во всём диапазоне изменения скоростей, так как крутящий момент на валу дизеля почти не зависит от частоты вращения его вала.

**Газовые передачи** – это системы устройств, предназначенные для передачи энергии от дизеля к движущим осям тепловоза при помощи газообразных тел (воздух, водяной пар или смеси, продукты сгорания топлива), позволяющие трансформировать вращающий момент и частоту вращения вала дизеля.

**Механическими** считают передачи, состоящие из отдельных механических звеньев – главной муфты и многоступенчатой коробки передач, позволяющие при переходе от ступени к ступени изменять передаточное отношение между валом дизеля и движущими колёсными

парами, что ведёт к изменению крутящего момента и частоты вращения. Главная муфта (муфта сцепления) может быть фрикционной, электромагнитной и т.д.

**Электрическими** называют передачи, в которых тяговый генератор преобразует механическую энергию дизеля в электрическую, которая при помощи тяговых электродвигателей трансформируется опять в механическую и далее, через тяговый редуктор (пара зубчатых колёс различного диаметра) передаётся на движущие оси.

**Гидравлическая передача** – когда мощность дизеля передаётся движущим колёсным парам через жидкость (масло, вода), циркулирующую в замкнутом объеме (гидронасос → гидротурбина или гидромотор).

Характеристики тяговой передачи, во-первых, должны соответствовать по сцеплению колёс с рельсами и конструкционной скорости, роду службы локомотива, режимам наибольшей теплотехнической экономичности дизеля, устойчивой и надёжной работы при минимальном весе. А во-вторых, саморегулируемость передач должна обеспечить наиболее гибкую приспособляемость режима работы энергосилового устройства к переменному профилю пути с целью обеспечения наибольшей пропускной и провозной способности железных дорог при заданной мощности дизеля и наименьших затратах на единицу перевозок. Однако, в реальных условиях эксплуатации реализовать все требования невозможно, поэтому возникают ограничения касательной силы тяги по передаче.

Сила тяги по электрической передаче – это касательная сила тяги тепловоза, возникающая вследствие преобразования электрической энергии, которую вырабатывают тяговые генераторы, в механическую работу движущих колёсных пар.

Сила тяги тепловоза по электрической передаче определяется из условия равенства мощности тяговых генераторов  $N_{\Gamma}$  и касательной мощности тепловоза  $N_{\kappa}$  с учётом потерь в тяговых электродвигателях  $\eta_{мэд}$  и редукторах  $\eta_{ред}$ .

У тепловозов с электрической передачей эффективная мощность дизеля  $N_e$  передаётся главному генератору, вырабатывающему электрическую энергию постоянного тока  $I_{\Gamma}$  напряжением  $U_{\Gamma}$ . При расходе части эффективной мощности дизеля  $N_B$ , которая составляет (0,08...0,12)  $N_e$ , на

привод вспомогательных устройств тепловоза (компрессор, вентиляторы холодильника, охлаждение тяговых электродвигателей и др.) и коэффициенте полезного действия генератора  $\eta_{\Gamma}$  его мощность составляет

$$N_{\Gamma} = (N_e - N_B) \cdot \eta_{\Gamma} = U_{\Gamma} \cdot I_{\Gamma} \cdot 10^{-3} \quad (9.13)$$

Ток от главного генератора поступает к тяговым электродвигателям постоянного тока, которые при помощи зубчатой передачи связаны, с осями движущих колёсных пар. Мощность, развиваемая тяговыми электродвигателями на ободах движущих колёсных пар, равна

$$N_k = Z_{\Gamma} N_{\Gamma} \eta_{мэд} \eta_{ред} = Z_{\Gamma} U_{\Gamma} I_{\Gamma} 10^{-3} \quad (9.14)$$

#### Касательная мощность тепловоза

$$N_K = \frac{F_K V}{3600} \quad (9.15)$$

Из равенства выражения (8.14) и (8.15) получим силу тяги тепловоза по электрической передаче, т.е.

$$F_K = 3,6 Z_r \frac{U_{\Gamma} I_{\Gamma}}{V} \eta_{мэд} \eta_{ред} \quad (9.16)$$

где  $Z_{\Gamma}$  - число тяговых генераторов тепловоза, шт.

Касательная сила тяги, развиваемая одним из  $Z_D$  тяговых электродвигателей тепловоза, будет равна

$$F_K = 3,6 Z_{\Gamma} \frac{U_{\Gamma} I_{\Gamma}}{V Z_D} \eta_{мэд} \eta_{ред} \quad (9.17)$$

Таким образом, сила тяги тепловоза по электрической передаче зависит от напряжения и тока главного генератора, коэффициента полезного действия передачи и скорости движения тепловоза. При этом упомянутая

сила тяги будет изменяться обратно пропорционально скорости движения тепловоза - по гиперболе, так как произведение  $F_k \cdot V = const$ , что является очевидным и основывается на следующих суждениях.

Внешняя характеристика тягового генератора постоянного тока представляет собой зависимость напряжения  $U_\Gamma$  от силы тока нагрузки  $I_\Gamma$  при неизменной позиции контроллера машиниста, которая имеет гиперболический вид. Это необходимо для сохранения мощности тягового генератора постоянной в пределах всего диапазона рабочих скоростей движения тепловоза, т.е.  $U_\Gamma I_\Gamma = const$ , а также соответствия её, эффективной мощности на коленчатом валу дизеля. Реализацию этой цели осуществляют за счёт автоматического регулирования возбуждения тягового генератора путём получения им сигналов от специальной электрической аппаратуры – возбuditеля, благодаря чему достигается изменение напряжения  $U_\Gamma$  тягового генератора по гиперболической зависимости.

При движении поезда на различных элементах профиля пути постоянно происходит изменение скорости тепловоза, а в этой связи и тока  $I_d$ , потребляемого тяговыми электродвигателями, и также касательной силы тяги  $F_k$  на ободах движущих колёсных пар. Причём ток  $I_\Gamma$  тягового генератора также будет изменяться в зависимости от скорости тепловоза.

С уменьшением сопротивления движению поезда, сила тока  $I_d$  на тяговых электродвигателях будет уменьшаться, что приведёт, соответственно, к уменьшению тока  $I_\Gamma$  на тяговом генераторе, а последний, благодаря гиперболической зависимости  $U_\Gamma = f(I_\Gamma)$ , в свою очередь, вызовет увеличение напряжения  $U_\Gamma$  и тем самым сохранит мощность тягового генератора постоянной, т.е.  $U_\Gamma I_\Gamma = const$ . Поэтому отношение  $F_k = const/V$  является гиперболой.

Кроме того, увеличение напряжения  $U_\Gamma$  приведёт, соответственно, к увеличению напряжения  $U_d$  тяговых электродвигателей и вследствие этого

скорость тепловоза будет повышаться, а сила тока станет уменьшаться, препятствуя снижению скорости движения последнего.

### **Характеристики тяговых электродвигателей постоянного тока**

На электровозах и электропоездах постоянного и переменного тока применяют тяговые электродвигатели постоянного тока. Форма тяговых характеристик электроподвижного состава (э.п.с), в основном, определяется электромеханическими характеристиками тяговых электродвигателей (ТЭД), приведенных к валу двигателя, а именно:

$n_d=f(I_d)$  - частоты вращения якоря ТЭД от его тока при заданном напряжении питания от контактной сети  $U_{кc}$ ;

$M_d=f(I_d)$  - вращающего момента на якоре ТЭД от тока;

$\eta_d=f(I_d)$  - к.п.д. тягового электродвигателя от тока якоря.

Электромеханические характеристики тяговых электродвигателей э.п.с. получают при стендовых испытаниях на заводе-изготовителе.

При тяговых расчетах электромеханические характеристики тягового электродвигателя обычно приводят к ободу колес колесной пары электровозов и электропоездов и получают электромеханические характеристики колесно-моторного блока [11]:

$V=f(I_d)$  - скорости движения колесной пары э.п.с. от тока якоря ТЭД;

$F_{кд}=f(I_d)$  - касательной силы тяги колесной пары э.п.с. от тока якоря ТЭД;

$\eta_э=f(I_d)$  - к.п.д. колесно-моторного блока э.п.с. от тока якоря ТЭД.

При пересчете электромеханических характеристик тяговых электродвигателей на характеристики колесно-моторных блоков используют следующие формулы:

- скорость движения колесной пары э.п.с, км/ч:

$$V = \frac{U_d - \sum r_{\text{я}}}{C\Phi} \quad (9.18)$$

где  $C$  - постоянный коэффициент для данной серии локомотива:

$C = C_8 \mu / (0,188 D_k)$ , где  $C_8$  — конструктивная постоянная тягового электродвигателя;  $\mu$  — передаточное число тяговых редукторов колесной пары;  $D_k$  — диаметр колес колесной пары, м;

- касательная сила тяги на ободу колес колесной пары, Н:

$$F_{\text{кд}} = 3,6 C \Phi I_d - \Delta F, \quad (9.19)$$

где  $\Delta F$  - потери силы тяги, вызванные магнитными и механическими потерями в колесно-моторном блоке, Н:

$$\Delta F = 3,6 (\Delta P_{\text{магн}} + \Delta P_{\text{мех}} + \Delta P_{\text{тр}}) / V,$$

где  $\Delta P_{\text{магн}}$  - потери мощности в магнитной системе ТЭД, кВт;  $\Delta P_{\text{мех}}$  - механические потери мощности в якорных подшипниках и щеточном аппарате ТЭД, кВт;  $\Delta P_{\text{тр}}$  - потери мощности в тяговых редукторах колесной пары и моторно-осевых подшипниках ТЭД, кВт;  $V$  - скорость движения, км/ч;

- коэффициент полезного действия колесно-моторного блока э.п.с.

$$\eta_p = 1 - \Delta p_p / (100 \eta_d),$$

где  $\Delta p_p$  - потери в тяговых редукторах и моторно-осевых подшипниках в процентах от подведенной мощности, %. Величина  $\Delta p_p$  определяется по графикам  $\Delta p_p = f(P_1)$  [12].

Необходимо отметить, что форма электромеханических характеристик тяговых электродвигателей и колесно-моторных блоков э.п.с. напрямую зависит от принятой системы возбуждения двигателей.

На рис. 9.4 представлены схемы основных систем возбуждения тяговых электродвигателей э.п.с: последовательного (рис. 9.4, а), параллельного (рис. 9.4, б), смешанного возбуждения при согласном (рис. 9.4, в) и встречном (рис. 9.4, г) включении последовательной и параллельной обмоток и независимого возбуждения (рис. 9.4, д). Расчетные тяговые характеристики электровозов с тяговыми

электродвигателями, имеющими вышеперечисленные системы возбуждения, приведены на рис. 9.5. Из кривых  $F_K=f(V)$ , представленных на рис. 9.5, следует, что тяговая характеристика электровоза с двигателями последовательного возбуждения (кривая 1) наиболее приближена к идеальной тяговой характеристике локомотива с электрическим приводом колесных пар (кривая 4) и позволяет наиболее полно использовать мощность тягового электродвигателя в эксплуатации. Тем не менее в зоне малых скоростей движения электровоза, когда тяговые электродвигатели работают при больших токах якоря  $I_d$ , наблюдается увеличение жесткости характеристик локомотива. Жесткость характеристик электродвигателей и электровоза в целом определяется темпом изменения силы тяги  $F_K$  от скорости  $V$ . Тяговые характеристики локомотивов называют жесткими при резком изменении функции  $F_K=f(V)$  (например, кривая 2 на рис. 9.2) и мягкими при плавном изменении кривой  $F_K=f(V)$ .

В свою очередь, тяговые характеристики электровозов с электродвигателями параллельного, смешанного и независимого возбуждения имеют более высокую степень жесткости, чем при последовательном возбуждении.

Вышеперечисленные системы возбуждения тяговых электродвигателей обладают целым рядом достоинств, и недостатков и нашли практическое применение на различных сериях электровозов.

Так, для электровозов постоянного тока с контакторно-реостатным управлением признано целесообразным [11] применение тяговых электродвигателей с системами последовательного или смешанного возбуждения с мягкими тяговыми характеристиками.

На электровозах переменного-постоянного тока и э.п.с. постоянного тока с импульсным регулированием предпочтительнее оказалось использование тяговых двигателей с независимым возбуждением и жесткими характеристиками.

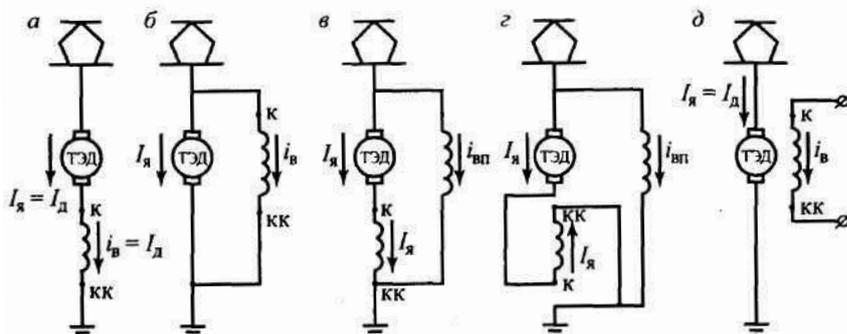


Рис. 9.4. Схемы систем возбуждения тяговых электродвигателей электроподвижного состава: а - последовательного; б - параллельного; в - смешанного при согласном включении обмоток; г - смешанного при встречном включении обмоток; д - независимого возбуждения

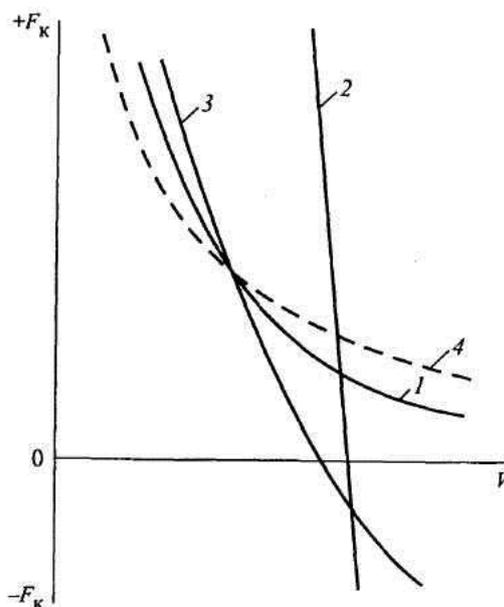


Рис.9.5. Расчетные тяговые характеристики электровозов с электродвигателями, имеющими разные системы возбуждения:

1 – при последовательном; 2 – при параллельном и независимом; 3 – при смешанном; 4 – идеальная характеристика с жесткими характеристиками.

Такие характеристики тяговых электродвигателей позволяют уменьшить интенсивность процессов боксования локомотива и, соответственно, увеличить критические веса водимых поездов. Широкое применение силовых полупроводников на э.п.с. позволяет несколько сгладить серьезные недостатки независимого возбуждения ТЭД - сильный разброс токов нагрузки между параллельно работающими ТЭД локомотива и чувствительность к колебаниям напряжения в контактной сети.

Отметим, что эффективность тяги существенно зависит от следующих тягово-эксплуатационных свойств локомотивов:

- хорошее использования сцепного веса;
  - устойчивость против боксования;
  - высокая перегрузочная способность машин, обеспечивающая минимальный вес на единицу мощности;
  - большая мощность в одной секции локомотива;
  - широкий диапазон регулируемости, обеспечивающий наиболее полное использование мощности в разнообразных условиях эксплуатации при резкопеременных нагрузках и высоких скоростях;
  - минимум ограничений использования мощности на всех режимах;
- простота управления;
- кроме этого, также широкий диапазон автоматического регулирования;
- наименьшие потери энергии в процессе регулирования и преобразования;
- отсутствие непроизводительных режимов работы оборудования.

Сравнительные испытания электровозов ВЛ80<sup>Р</sup> с последовательным возбуждением тяговых электродвигателей и ВЛ80<sup>РН</sup> с независимым возбуждением с поездами, проведенные ВНИИЖТом [13, 14], показали, что коэффициент тяги электровозов ВЛ80<sup>РН</sup> на 8,4 % выше, чем ВЛ80<sup>Р</sup>; во время разгона, т.е. в диапазоне высоких токовых нагрузок жесткость тяговых характеристик электровозов ВЛ80<sup>РН</sup> и ВЛ80<sup>Р</sup> сближается и их тяговые возможности почти не отличаются.

Тяговой характеристикой локомотива называется графическая зависимость касательной силы тяги локомотива от установившейся скорости движения при различных режимах работы его энергосиловой установки с учетом ограничений по надежности, устойчивости и обеспечения безопасности движения.

### **Тяговые характеристики электровозов постоянного тока**

На рис.9.6 приведены расчетные тяговые характеристики  $F_{\kappa} = f(V)$  (рис. 9.6, а) и кривая изменения касательной мощности восьмиосного грузового электровоза постоянного тока от скорости движения (рис. 9.6, б). из которых видно, что электровоз имеет три схемы соединения

тяговых электродвигателей, на каждой из которых предусмотрено, кроме полного магнитного потока (ПП), четыре ступени ослабления магнитного потока двигателей (ОП1, ОП2, ОП3, ОП4).

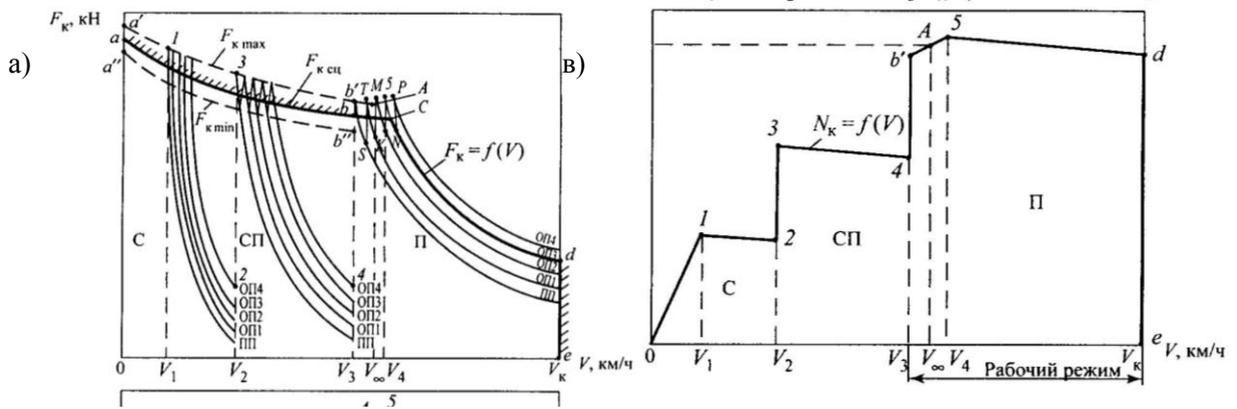


Рис. 9.6. Расчетные характеристики электровоза постоянного тока: а - тяговые характеристики; б - кривая изменения касательной мощности

На тяговой характеристике электровоза постоянного тока показаны ограничивающие линии тяговых возможностей локомотива:  $a - b$  - по силе сцепления колес с рельсами;  $a - c - d$  - по наибольшим значениям тока тяговых двигателей (по условиям нормальной коммутации);  $d - e$  - наибольшим допустимым скоростям движения.

Разгон электровоза постоянного тока осуществляется с применением пусковых резисторов, при переходе с одной реостатной позиции на другую (их число достигает 37) возникают броски тока, а следовательно, резкое увеличение силы тяги в диапазоне от  $F_{k \min}$  до  $F_{k \max}$ . Диапазон изменения силы тяги при работе электровоза на пусковых резисторах показан на рис. 9.6 штриховыми линиями  $a'-b'$  и  $a'' - b''$ . Линия  $a-b$  соответствует расчетному значению силы тяги, ограниченной по сцеплению, которая определяется по эмпирическим формулам, приведенным в ПТР [15] для определенных серий локомотивов.

Бросками тока тяговых двигателей, а следовательно, касательной силы тяги, создаваемой колесами электровоза, сопровождаются также переключения ступеней ослабления магнитного потока двигателей ПП-ОП1-ОП2-ОП3-ОП4 (см. рис. 9.6, а).

В процессе выполнения тяговых расчетов не учитывают эти изменения силы тяги при переключении схем соединения тяговых электродвигателей и ступеней ослабления магнитного потока. Поэтому эти расчеты проводят используя параметры жирно выделенной линии  $a$ - $b$ - $c$ - $d$ - $e$  на тяговых характеристиках локомотива, соответствующей средним расчетным значениям изменения касательной силы тяги электровоза от скорости.

На тяговых характеристиках электроподвижного состава выделяют три основных режима работы локомотива: расчетный, часовой и длительный.

Расчетный режим и, соответственно, расчетная скорость  $V_p$  и касательная сила тяги  $F_{кр}$  электровоза постоянного тока обычно соответствуют точке перехода с ограничения силы тяги по сцеплению на ограничение по току коммутации двигателей (точка « $b$ » на рис. 9.6, а). По расчетному режиму работу электровоза определяют весовые нормы поездов и проводят основные тягово-энергетические расчеты по определению скорости движения и времени хода поезда по перегону и расходу электроэнергии на тягу поездов. При работе электровоза в часовом режиме ( $V_p, F_{кр}$ ) обеспечивается эксплуатационная надежность его силового оборудования при движении локомотива по наиболее трудному элементу профиля с критическим (расчетным) весом состава в течение часа. Длительный режим работы электровоза ( $V_\infty, F_\infty$ ) соответствует по значению расчетному режиму тепловоза с электрической передачей. Часовой и длительный режимы работы электровоза на его тяговой характеристике соответствуют параллельному соединению двигателей и ступени ослабления магнитного потока ОПЗ.

Касательная мощность  $P_k$  электровоза постоянного тока изменяется ступенчато (рис. 9.6, б). Разгон электровоза в диапазоне скоростей  $0$ - $V_2$  производится при серийном (последовательном) соединении тяговых двигателей и применении пусковых резисторов, в которых поглощается значительная часть мощности электрической энергии, поступающей из контактной сети. При скорости  $V_1$  постепенно происходят автоматические переключения ступеней ослабления магнитного потока; из-за жесткости электромеханических характеристик тяговых

электродвигателей происходит недоиспользование их мощности, поэтому касательная мощность  $N_k$  электровоза на участке  $V_1-V_2$  несколько падает. При увеличении скорости электровоза производятся дальнейшие переключения схем соединения двигателей: вначале на серийно-параллельное «СП» ( $V_2 - V_3$ ), затем на параллельное «П» ( $V_3-V_k$ ). Падение касательной мощности в диапазонах скоростей  $V_2 - V_3$  и  $V_4-V_k$  объясняется жесткостью характеристик двигателей. Практически все характерные скорости электровоза постоянного тока попадают на диапазон  $V_3-V_k$ , который считается рабочим (оптимальным) режимом их работы. Именно в рабочем диапазоне устанавливаются расчетная мощность и мощности часового и длительного режимов работы электровоза и реализуется установленная мощность тяговых электродвигателей.

Опытные тяговые характеристики электроподвижного состава постоянного тока получают в результате тягово-энергетических и тягово-эксплуатационных испытаний.

На рис. 9.7 приведены опытные тяговые характеристики двенадцатиосного двухсекционного грузового электровоза ВЛ 15 с электродвигателями ТЛ-3 мощностью в длительном режиме работы 700 кВт каждый. На электровозе ВЛ 15 применяют три схемы соединения двигателей (С-СП-П) и четыре ступени ослабления магнитного потока (ОП1-ОП2-ОП3-ОП4), а также полное возбуждение (ПП) на каждой из схем соединения двигателей ТЛ-3. Каждой из ступеней ослабления магнитного потока соответствует своя тяговая характеристика электровоза. Сила тяги часового режима электровоза ВЛ15, соответствующая параллельному соединению двигателей и ступени ОП3, равна  $F_{кч} = 675$  кН, скорость -  $V_ч=46,0$  км/ч; сила тяги длительного режима  $F_{к∞} = 620$  кН, скорость-  $V_∞ = 47,0$  км/ч. Мощность на валах тяговых электродвигателей ВЛ 15 часового режима 9000 кВт, длительного – 8400 кВт.

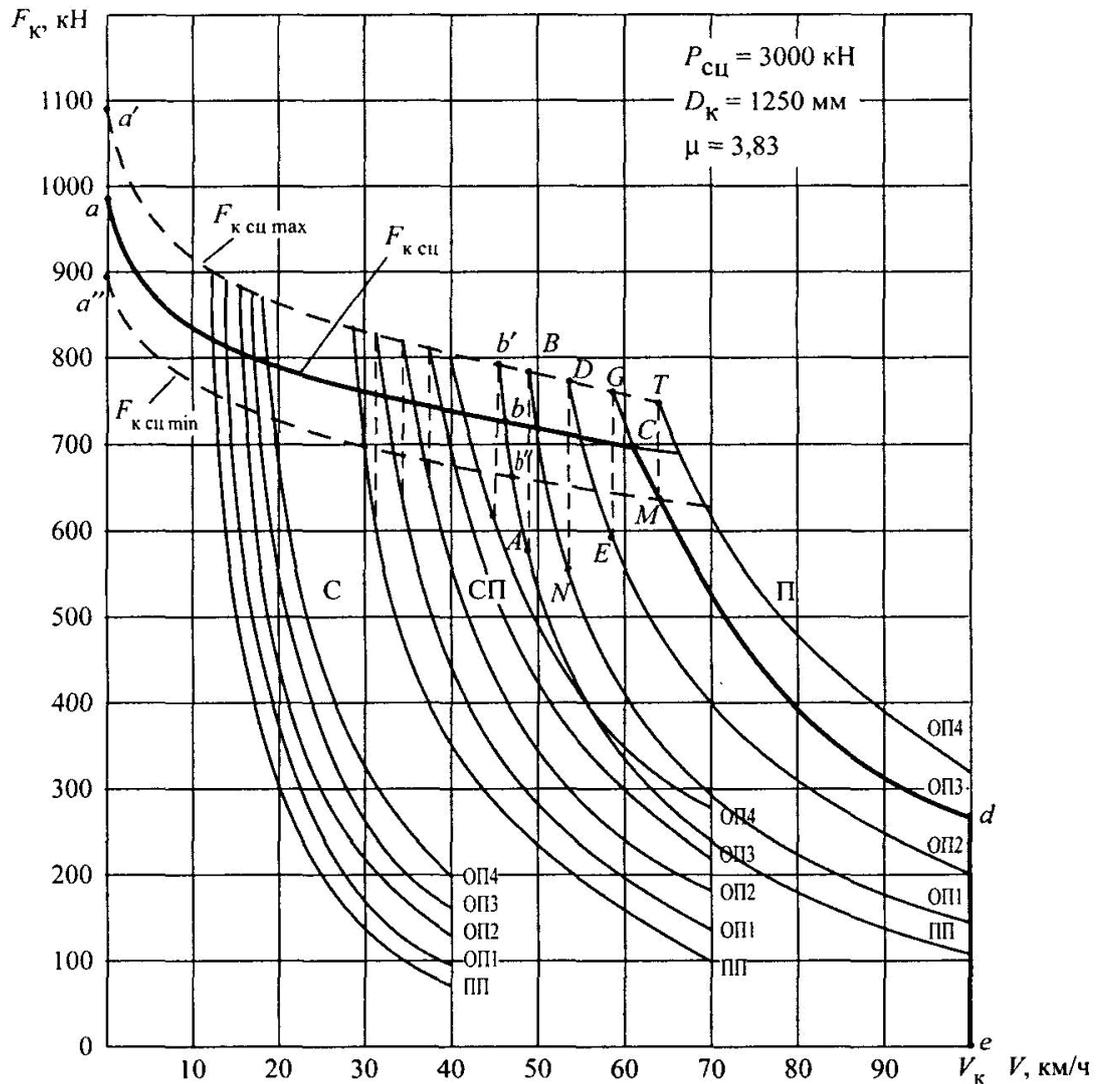


Рис. 9.7. Тяговые характеристики грузового электровоза ВЛ15 с электродвигателями ТЛ-3

На графиках  $F_k = f(V)$  электровоза ВЛ15, представленных на рис. 9.7, отмечены следующие ограничения тяговых характеристик локомотива: кривая  $a-b$  - по сцеплению колес с рельсами (расчетная зависимость); кривая  $b-c-d$  - по току коммутации тяговых электродвигателей;  $d-e$  - по максимальной скорости движения. На кривой  $b-c-d$  также (рис. 9.7) отмечены точки, соответствующие часовому и длительному режимам работы электровоза ВЛ15.

Разгон электровоза ВЛ15 осуществляется с применением пусковых резисторов. Переходы с одной реостатной позиции на другую

сопровождаются бросками тока двигателей, а следовательно, силы тяги электровоза от  $F_{к\text{ сц min}}$  до  $F_{к\text{ сц max}}$  (рис. 9.7). На тяговых характеристиках электровоза ВЛ15 диапазон этих колебаний величины  $F_{к\text{ сц}}$  ограничен штриховыми линиями  $a'-e'$  и  $a''-e''$ .

Переключения схем соединения тяговых электродвигателей ВЛ 15 (С-СП-П) и ступеней ослабления (ПП-ОП1-ОП2-ОП3-ОП4) также сопровождаются бросками тока и силы тяги локомотива. В качестве примера на рис. 9.7 изменения силы тяги при переключениях ступеней на параллельном соединении двигателей показаны штриховыми линиями  $A-B$ ,  $E-C$ ,  $M-T$ .

При выполнении тяговых расчетов принято не учитывать изменения силы тяги при переключениях схем соединения двигателей и ступеней, а использовать средние значения силы тяги ВЛ 15, выделенные на рис. 9.7 жирной линией  $a-b-c-d-e$ .

### **Тяговые характеристики электровозов переменного тока**

На железнодорожных участках ГАЖК «Ўзбекистон темир йўллари» используется электрическая тяга переменного однофазного тока напряжением в контактной сети  $U_{к\text{с}} = 25$  кВ и промышленной частотой 50 Гц. На электроподвижной состав переменного тока, работающий на переменном однофазном токе, устанавливают специальное оборудование для преобразования и регулирования напряжения и тока. В результате электроподвижной состав переменного тока имеет более сложную конструкцию по сравнению с э.п.с. постоянного тока. Наибольшее распространение получили локомотивы со статическими преобразователями и тяговыми электродвигателями постоянного (пульсирующего) тока.

На рис. 9.8 представлены расчетные характеристики электровоза переменного тока. Тяговые характеристики электровоза со статическим преобразователем представляют семейство кривых  $F_{к} = f(V)$ , пропорциональное числу ступеней регулирования величины  $U_{тэд}$ , т.е. позиций рукоятки контроллера машиниста (ПК1...ПК33). На высшей (ПК33) позиции рукоятки контроллера машиниста каждой ступени ослабления магнитного потока НП-ОП1-ОП2-ОП3 также соответствует своя характеристика  $F_{к} = f(V)$ .

Поле возможных тяговых характеристик электровоза переменного тока ограничивается следующими предельными кривыми (рис. 9.8, а:  $a-b$  - ограничение по условиям сцепления колес с рельсами;  $b-c-d$  - ограничение по допустимому току (току коммутации) тяговых электродвигателей;  $d-e$  - ограничение по максимальной скорости движения).

Силовое оборудование электроподвижного состава переменного тока рассчитывают из условий надежной работы на следующих основных режимах: расчетный ( $V_p$ ), часовой ( $V_4$ ) и длительный ( $V_\infty$ ). Эти режимы соответствуют тяговой характеристике  $F_k = f(V)$  локомотива на высшей (ПК33) позиции рукоятки контроллера машиниста и ступени нормального магнитного потока НП (рис. 9.8, а).

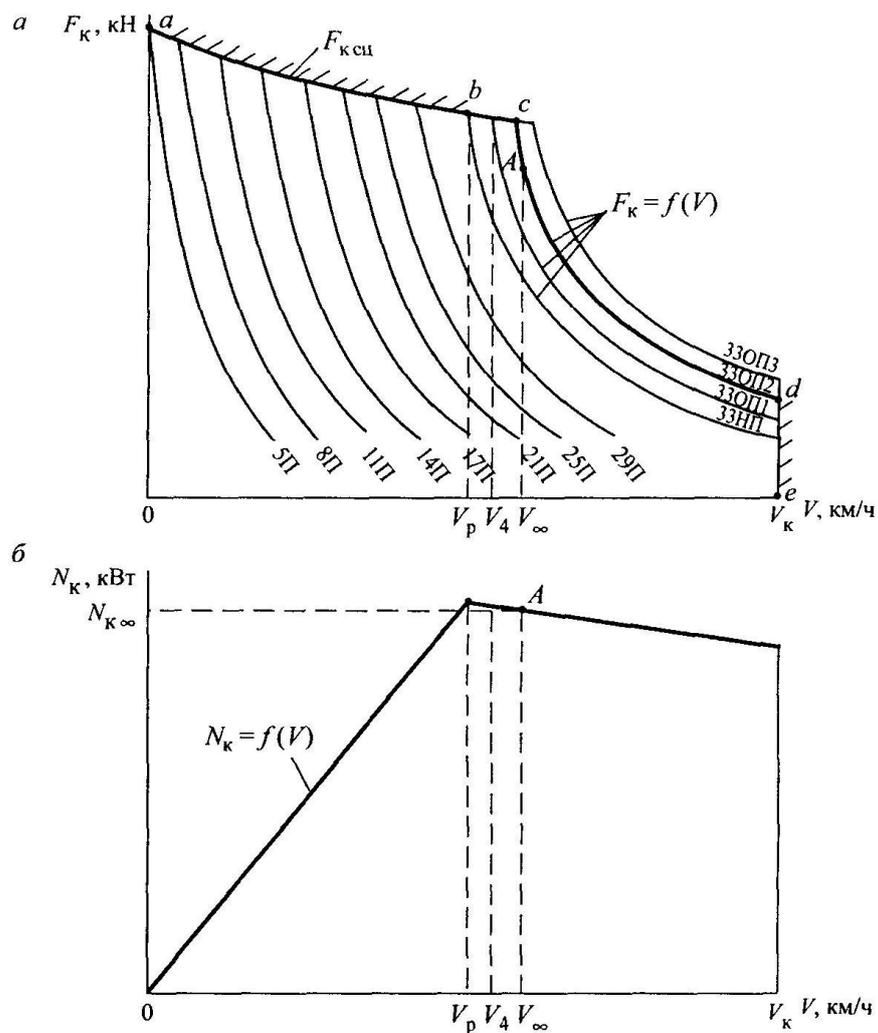


Рис. 9.8  
переменного

По расч... янного тока (точка «e» на кривой  $F_k = f(V)$  - см. рис. 9.8, а) устанавливают весовые нормы поездов для конкретных участков обращения

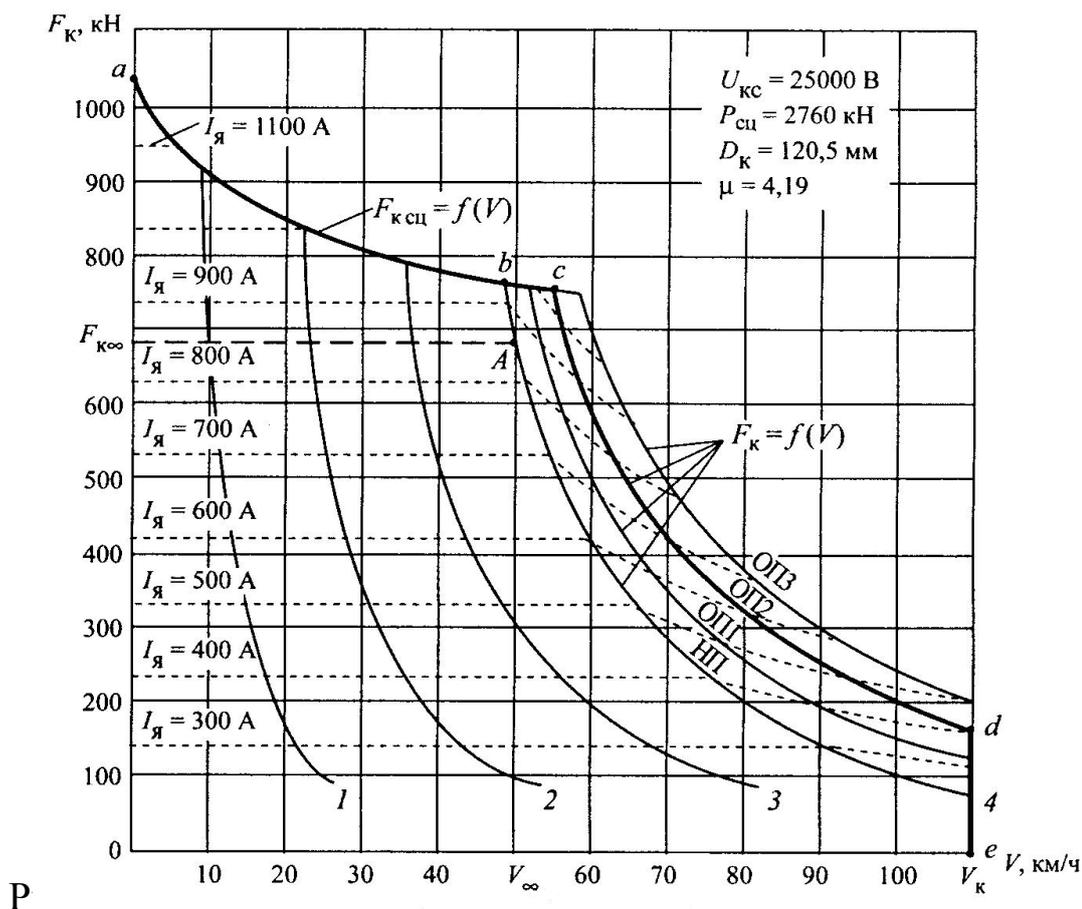
локомотивов и проводят тяговые расчеты по определению скорости движения и времени хода поезда по перегону.

Касательная мощность  $N_k$  электровоза переменного-постоянного тока изменяется (см. рис. 9.8, б) пропорционально росту напряжения  $U_{\text{тэд}}$  на тяговых электродвигателях и, соответственно, увеличению коэффициента трансформации тягового трансформатора. При наборе позиций контроллера машиниста с ПК1 до ПК32 касательная мощность  $N_k$  электровоза возрастает ступенчато, однако на рис. 9.8, б это изменение касательной мощности  $N_k$  в функции скорости показано в виде линейной зависимости  $N_k = f(V)$ , построенной для удобства по средним значениям касательной мощности. Максимальная мощность  $N_{k \text{ max}}$  электровозом переменного-постоянного тока может быть реализована лишь при расчетной скорости  $V_p$ , т.е. при наборе наибольшей позиции рукоятки контроллера машиниста ПК33. В диапазоне  $V_p - V_k$  касательная мощность  $N_k$  электровоза несколько уменьшается, что объясняется потерями мощности при переходах НП-ОП1-ОП2-ОП3 и жесткостью характеристик тяговых электродвигателей с последовательным возбуждением. Часовой ( $V_{\text{ч}}$ ) и длительный ( $V_{\infty}$ ) режимы работы электровоза переменного-постоянного тока соответствуют рабочему диапазону. При сравнении тяговых качеств электровозов переменного-постоянного тока с тепловозной тягой целесообразно использовать скорость  $V_{\infty}$  и силу тяги  $F_{k\infty}$  длительного режима электровоза и расчетные параметры тепловоза.

На рис. 9.9. представлены тяговые характеристики  $F_k = f(V)$  грузового электровоза ВЛ85 на 1,2,3 и 4-й зонах регулирования (при полностью открытых тиристорах) и трех ступенях ослабления магнитного потока НП-ОП1-ОП2-ОП3. На электровозе применено параллельное соединение тяговых электродвигателей. В случае боксования колесной пары уменьшается сила тока  $I_d$  связанного с ней тягового электродвигателя и ток нагрузки преобразователя, а это приводит к увеличению напряжения на «боксующем» колесно-моторном блоке, что в итоге препятствует развитию процесса боксования локомотива.

Поэтому у электровоза ВЛ85 использование силы сцепления при трогании с места и разгоне существенно выше, чем на э.п.с.

постоянного тока при последовательном соединении тяговых электродвигателей. На электровозе ВЛ85 применена система управления по двум параметрам: току и скорости. Одной рукояткой управления машинист может задать значения пускового тока от 300 до 1100 А (на рис. 9.9 значения пускового тока отмечены штриховыми линиями), другой – ско-



рость, при достижении которой ускорение поезда прекращается. На графиках  $F_{к} = f(V)$  электровоза ВЛ85 отмечены следующие ограничения силы тяги: кривая  $a-b$  - по сцеплению колес с рельсами;  $b-c-d$  - по току коммутации тяговых электродвигателей;  $d-e$  - по максимальной скорости движения. На кривой  $F_{к} = f(V)$ , соответствующей четвертой зоне регулирования и нормальному магнитному потоку НI, отмечены точки расчетного ( $V_p$ ), часового ( $V_ч$ ) и длительного ( $V_{\infty}$ ) режимов работы электровоза. Как отмечалось ранее,

длительный режим работы электровоза ВЛ85 ( $V_{\infty} = 50$  км/ч;  $F_{к\infty} = 675$  кН) соответствует расчетному режиму магистрального тепловоза.

### **Контрольные вопросы**

1. Тяговые и токовые характеристики локомотивов и их сущность.
2. Что такое переходный режим работы локомотивов.
3. Перечислите основные тягово – эксплуатационные свойства локомотивов.
4. Как и чем оценивается перегрев обмоток тяговых электрических машин локомотивов.
5. Какими показателями оценивают регулировочные свойства и эффективность использования мощности локомотивов.

### **Литература**

1. Кузьмич В.Д., Руднев В.С., Френкель С.Я. Теория локомотивной тяги. – М.: Маршрут, 2005, 448с.
2. Деев В.В. и др. Тяга поездов. - М.: Транспорт, 1987, 264с.
3. Подвижной состав и тяга поездов. Под. ред. В.В. Деева и Н.А. Фурьянского. – М.: Транспорт, 1979, 368с.

### **Лекция № 10:**

#### **Силы сопротивления движению поезда, пути и способы их снижения**

#### **План лекции**

1. Классификация сил сопротивления движению.
2. Основное сопротивление движению.
3. Дополнительное сопротивление движению поезда.
4. Пути снижения сопротивления движению поездов.

## 10.1. Классификация сил сопротивления движению

Работа касательной силы тяги, создаваемой при взаимодействии движущихся колес локомотива с рельсами, преимущественно затрачивается на преодоление внешних сил, препятствующих движению поезда. Природа и причины возникновения, а также величина этих внешних сил различны. Многие внешние силы случайны, многие взаимосвязаны по физике явления. Неуправляемые внешние силы, направленные в сторону противоположную направлению движения поезда и, следовательно, препятствующие его движению, называются действительными силами сопротивления движению.

В теории локомотивной тяги принято оценивать результирующую всех неуправляемых внешних сил сопротивления движению поезда. В соответствии с этим сопротивлением движению поезда называют эквивалентную силу, приложенную в зонах (точках) касания колес с рельсами, на преодоление которой затрачивается такая же работа, как на преодоление всех неуправляемых действительных сил, препятствующих движению.

Силы сопротивления движению подвижного состава обозначают буквой  $W$ .

Классификация сил сопротивления основана на их разделении по следующим признакам с соответствующими обозначениями.

Классификация сил сопротивления по отношению к весу подвижного состава:

- полное сопротивление -  $W$ , Н;
- удельное сопротивление -  $w$ , Н/кН.

Полное сопротивление  $W$  представляет собой сопротивление движению поезда или единицы подвижного состава в целом.

Удельное сопротивление  $w$  - сила сопротивления, в Н, движению каждой единицы веса поезда, в кН. Удельные силы сопротивления движению широко используются при выполнении тяговых расчетов.

Классификация сил сопротивления по условиям эксплуатации:

- основное сопротивление –  $W_0, w_0$ ;
- дополнительные сопротивления -  $W_{\text{доп}}, w_{\text{доп}}$ ;
- добавочное сопротивление при трогании с места -  $W_{\text{тр}}, w_{\text{тр}}$ ;
- общее сопротивление –  $W_k, w_k$ .

За основное сопротивление принимают те силы, которые препятствуют движению подвижного состава по прямому горизонтальному пути на открытой местности при нормальных метеоусловиях с любой допустимой по безопасности движения скоростью.

Необходимо отметить, что в теории локомотивной тяги движение всех единиц подвижного состава, в том числе локомотивов, описывается одним и тем же уравнением движения поковки. Наличие на локомотивах тяговых электродвигателей и зубчатых тяговых передач, а также механических трансмиссий на тепловозах с гидropередачами делает основное сопротивление движению локомотивов отличным от вагонов. На величину основного сопротивления движению также существенное влияние оказывает режим работы локомотива в эксплуатации.

В этой связи дополнительно различают силы основного сопротивления в зависимости от режима работы локомотива (тягового режима или холостого хода):

- основное сопротивление движению поезда с локомотивом, работающим в режиме тяги, -  $W_0, w_0$ ;
- основное сопротивление движению поезда с локомотивом, работающим в режиме холостого хода, -  $W_{\text{ох}}, w_{\text{ох}}$ .

Основная физическая природа основного сопротивления – силы механического трения.

Основное сопротивление всегда сопутствует движению подвижного состава; при любых условиях его эксплуатации величина  $W_0$  не может быть равна нулю.

Дополнительные сопротивления - временно действующие силы, возникающие в конкретных условиях эксплуатации подвижного состава, например при движении по уклону профиля пути, в кривой, в тоннелях и прочее.

Добавочное сопротивление возникает при трогании с места единиц подвижного состава. Это сопротивление ограничено по времени действия, его физическая природа и причины возникновения заметно отличаются от сил основного сопротивления. По этим и ряду других причин добавочное сопротивление при выполнении тяговых расчетов учитывается отдельно.

Общее сопротивление движению подвижного состава представляет собой алгебраическую сумму основного, дополнительных и добавочного сопротивлений.

Классификация сил сопротивления по типу подвижного состава:

- сопротивление движению локомотива - вводится один штрих вверху  $W'$ ,  $w'$ ;

- сопротивление движению состава (вагонов) - вводятся два штриха вверху -  $W''$ ,  $w''$ ;

- сопротивление движению поезда - штрихи не применяются -  $W$ ,  $w$ ;

## **10.2. Основное сопротивление движению**

Основное сопротивление движению представляет собой сумму всех сил, препятствующих движению на прямых горизонтальных участках пути, и возникает в результате взаимного трения деталей подвижного состава, сопротивления от взаимодействия пути и подвижного состава, а также сопротивления воздушной среды при отсутствии ветра и диссипации энергии в окружающую среду.

Сопротивление от взаимного трения деталей подвижного состава прежде всего зависит от силы трения в буксовых подшипниках колесных пар и определяется типом и состоянием подшипников, качеством и количеством смазки, температурой наружного воздуха (влияет на вязкость смазки), скоростью движения поезда и нажатием

подшипника на шейку оси. В роликовых буксовых подшипниках вместо трения скольжения действует трение качения, что обеспечивает значительное уменьшение сил трения; следует учитывать, что сила нажатия на буксовую шейку оси колесной пары электровоза превышает 10 кН, а у полностью груженных вагонов достигает 9 кН. ( В тяговых расчетах используются единицы физических величин, принятые в ПТР; следует учитывать, что  $1 \text{ тс} = 9,81 \text{ кН}$ ;  $1 \text{ кгс} = 9,81 \text{ Н}$ ).

Внутреннее сопротивление движению электровоза обусловлено также трением зубчатой передаче, якорных и моторно-осевых подшипниках, между щетками и коллекторами тяговых двигателей и т.п. Внутреннее сопротивление уменьшается при правильном уходе и исправном состоянии этих узлов.

Сопротивление от взаимодействия пути и подвижного состава возникает в результате трения качения и трения скольжения между колесами и рельсами. При большой твердости материала колес и рельсов они меньше вдавливаются друг в друга и трение качения уменьшается; применений бесстыкового пути и рельсов более тяжелого типа также уменьшает это трение. Трение скольжения между колесом и рельсом возникает при неравенстве диаметров колес одной колесной пары, соприкосновении гребней бандажей с боковыми гранями головок рельсов и поперечном скольжении во время виляния тележек. Чем выше скорость, тем больше препятствуют движению эти явления.

Необходимо учитывать также толчки от набегания колес на торцы рельсов на стыках, крестовинах стрелочных переводов. Это сопротивление может быть снижено улучшением содержания полотна железной дороги и рельсов, а также увеличением длины рельсов. Неровности рельсов или бандажей колес (выбоины, овальность) также увеличивают сопротивление движению, так как при вертикальном перемещении ходовых частей часть энергии локомотива поглощается деталями рессорного подвешивания как самого электровоза, так и вагонов; кроме того, имеются потери энергии в обрешиненных деталях поводков букс.

Сопротивление воздушной среды вызывается давлением воздуха на лобовую поверхность подвижного состава, разрежением воздуха за

задней торцовой стенкой каждого вагона и трением поверхности подвижного состава о воздух. На значение этого сопротивления наибольшее влияние оказывают скорость движения поездов, форма вагонов и локомотива.

Кинетическая энергия движущегося поезда частично поглощается упругими элементами конструкции подвижного состава и рассеивается в окружающую среду, на восполнение потерь которых затрачивается работа силы тяги локомотива.

Движение поезда сопровождается как вертикальными колебаниями подрессоренной части и подвижного состава, так и рывками по длине поезда.

Вертикальные колебания движущегося подвижного состава обусловлены двумя основными источниками кинематического возмущения: геометрическими неровностями рельсового пути, круга катания колес и неравноупругостью пути.

Продольные динамические силы, действующие в составе и приводящие к рывкам по длине поезда, возникают из-за большой разницы в весе вагонов состава, смены режима ведения поезда, изменения профиля пути железнодорожных участков и ряда других причин. Наличие зазоров в автосцепках приводит к разному мгновенному ускорению вагонов одного состава: выравнивание скорости всех вагонов происходит за счет работы поглощающих аппаратов автосцепок, в которых энергия поезда безвозвратно теряется.

Выделим основные причины возникновения диссипации энергии в окружающую среду:

- движение вагонов сопровождается вертикальными колебаниями их подрессоренной части, энергия которых гасится в элементах рессорного подвешивания (гасителях колебаний, рессорах и т.д.);

- различия в мгновенных ускорениях и замедлениях вагонов состава приводит к появлению в поезде продольных динамических сил, энергия которых гасится поглощающими аппаратами автосцепок и амортизаторами упругой площадки пассажирских вагонов;

- упругие связи букс с тележками подвижного состава также поглощают энергию движущегося поезда.

Мероприятия по уменьшению основного сопротивления движения: полная загрузка вагонов; правильное формирование составов (сосредоточение однотипных вагонов по группам – полувагонов, платформ и т.п.); закрытие дверей и люков, улучшающее обтекание вагонов воздухом; устранение трения тормозных колодок о колеса; улучшение состояния верхнего строения пути; сокращение времени стоянок, облегчающее трогание составов с места, особенно в зимнее время.

Перевод половины парка грузовых вагонов на роликовые буксовые подшипники только на электрифицированных участках железных дорог дает экономию электроэнергии до 1,5 млрд. кВт · ч в год.

Полное основное сопротивление движению поезда  $W_o$  складывается из основных сопротивлений движению локомотива  $W'_o$ , и состава  $W''_o$  т.е.

$$W = W'_o + W''_o .$$

### **10.3. Дополнительное сопротивление движению поезда**

Это сопротивление возникает при движении в кривых, по уклонам, при низкой температуре наружного воздуха и сильном встречном и боковом ветре.

Для уменьшения дополнительного сопротивления движению смягчают профиль пути, увеличивают радиусы кривых, смазывают боковые поверхности головок наружных рельсов в кривых или; гребни бандажей специальной смазкой, закрывают двери грузовых вагонов, пассажирские вагоны скоростного движения выполняют более обтекаемой формы.

Сопротивление от крутизны уклона  $i$  определяют как отношение разности высот (от горизонтальной линии) начала и конца уклона (МН) к длине участка (М0), на котором расположен уклон (рис. 3.1), т.е.  $i = \text{МН}/\text{М0}$ .

Разность высот принято выражать в метрах, а длину - в километрах; тогда уклон  $i$  будет выражен в тысячных долях (условный знак ‰).

Например, на участке протяженностью 5 км путь поднимается на 50 м; при этом  $i = 50/5 = 10‰$ .

Сила тяжести вагона  $P$  по правилам механики может быть разложена на две составляющие: силу  $P_2$ , прижимающую вагон к рельсам и силу  $P_1$ , направленную против силы тяги  $F$ ; учитывая, что при малом угле  $\angle HMO$  длины  $HO$  и  $MO$  почти равны, то по правилам геометрии можно записать:

$$\frac{P_1}{P} = \frac{MH}{MO}.$$

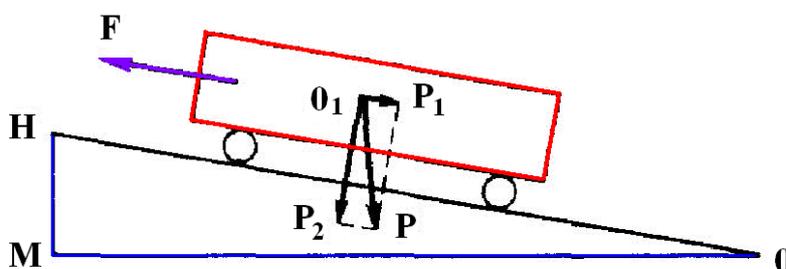


Рис. 10.1. - Схема сил, действующих на вагон на уклоне

Отрезок  $P_1$  - это сила сопротивления движению  $W_i$  вызванная притяжением Земли, поэтому отношение  $P_1/P = W_i/P$  представляет собой удельное сопротивление движению от уклона  $w_i$ ; отношение  $MH/MO$  есть уклон  $i$ ; следовательно,  $w_i = i$ , т.е. этим доказано, что дополнительное сопротивление от уклона ( $H/kH$ ) численно равно крутизне уклона в тысячных.

При движении по кривым участкам пути под действием силы инерции гребни бандажей колесных пар прижимаются к боковой поверхности головки наружного рельса, что приводит к возникновению трения между ними. При большой кривизне пути, малом поперечном разбеге колесных пар в трехосных тележках не только концевые колесные пары прижимаются к наружному рельсу, но и средние (2-я и 5-я) к внутреннему рельсу. Кроме того, возникают дополнительные усилия в опорах кузовов и ударно-тяговых приборах как у локомотивов,

так и у вагонов. Все это вызывает дополнительное сопротивление движению в кривой. Удельное сопротивление движению по кривой рассчитывают по опытной формуле  $w_r = 700/R$ , где R - радиус кривой, м. Для подсчета сопротивления  $w_r$ , поезда, длина которого превышает длину кривой, используют более сложную формулу.

Встречный или боковой ветер вызывает дополнительное сопротивление движению, особенно возрастающее при высоких скоростях; попутный ветер способствует повышению скорости движения. Боковой ветер, прижимая гребни колес к рельсам, приводит к значительному увеличению сопротивления движению, особенно вагонов, следующих с открытыми дверями и люками.

На участках с постоянными ветрами сопротивление, создаваемое ими, учитывают при тяговых расчетах. Сопротивление в этом случае задается в процентах от основного удельного сопротивления движению. Например, при скорости ветра 8 м/с и скорости движения 80 км/ч удельное сопротивление от ветра следует принять равным 10% основного сопротивления. Перечень участков, на которых учитывается действие ветра, утверждается ГАЖК «Ўзбекистон темир йўллари».

Сопротивление движению от низкой температуры наружного воздуха возрастает в основном за счет повышения вязкости смазки в узлах трения. Его учет рекомендуется производить при температурах ниже - 25°C в процентах от основного сопротивления движению; например, для грузовых вагонов при скорости 80 км/ч и температуре воздуха - 30 °C это повышение сопротивления принимается равным 7%.

Кроме рассмотренных разновидностей дополнительных сопротивлений движению, в расчетах иногда приходится учитывать сопротивление движению при трогании поездов с места, а у пассажирских поездов и сопротивление от действия подвагонных генераторов.

Повышение сопротивления при трогании поезда с места объясняется тем, что за время стоянки смазка в буксах между прижатыми деталями вытесняется в свободное пространство в буксах, остывает, что приводит к повышению ее вязкости, особенно при низких

температурах атмосферы, а также тем, что коэффициент трения покоя всегда больше коэффициента скольжения. Длительная стоянка поезда зимой значительно повышает сопротивление движению при трогании.

Дополнительное сопротивление движению от подвагонных генераторов в пассажирских поездах учитывается при скоростях свыше 20 км/ч, когда к ним подключаются электрические потребители вагонов.

При тяговых расчетах вводят понятие «фиктивный подъем», т.е. считают, что удельное сопротивление от кривой  $w_r$  можно сложить с сопротивлением от уклона  $w_i$ , а именно:  $w_d = w_i + w_r$ .

#### **10.4. Пути снижения сопротивления движению поездов**

Железнодорожный транспорт является одним из крупнейших потребителей топливно-энергетических ресурсов. Уменьшение сопротивления движению снижает расход энергии на тягу поездов и поэтому существенно влияет на повышение эффективности работы железных дорог.

Все мероприятия по уменьшению сопротивления движению поездов можно разделить на три группы [10].

I. Организационно-технические.

II. Технические (конструктивные).

III. Организационные.

К первой группе относятся:

1. Повышение статической нагрузки грузовых вагонов  $q_0$ .

Из расчетных эмпирических формул по определению удельного основного сопротивления движению четырехосных грузовых вагонов следует, что величина  $w_0$  // уменьшается при увеличении статической нагрузки  $q_0$ .

Следовательно, перевозить порожние вагоны по железным дорогам с позиции энергетики тяги невыгодно.

Достичь полной загрузки вагонов удастся при перевозке насыпных грузов (руда, уголь, песок и т.д.) в полувагонах.

Тем не менее, по железным дорогам перевозятся в вагонах и грузы с небольшой плотностью, например хлопок, бытовая техника и др.

## 2. Уменьшения порожнего пробега вагонов.

Универсальным показателем качества работы железных дороги использования подвижного состава является оборот вагона. Оборот вагона - время от одной погрузки до следующей погрузки в тот же вагон.

Многие годы этот качественный показатель почти не меняется и составляет 6 суток. Сократив оборот, можно ту же работу выполнить числом вагонов и, главное, уменьшить продолжительность перевозки самих грузов, что чрезвычайно выгодно для клиентов железных дорог.

Ко второй группе можно отнести:

1. Снижение тары вагонов за счет применения в их конструкции более легких материалов и сварных соединений. При уменьшении тары повышается грузоподъемность вагона и сокращаются затраты на тягу поездов.

2. Замена в четырехосных грузовых вагонах буксовых подшипников скольжения на подшипники качения дает значительный экономический эффект за счет снижения энергозатрат и расходов на текущее содержание и ремонт вагонов. Наибольший эффект от такой замены получают при трогании с места и разгоне грузового поезда.

3. Смягчение плана и профиля пути, т.е. увеличение радиуса кривых участков пути и уменьшение крутизны расчетных подъемов, а также «вредных» спусков, на которых машинисту приходится применять регулировочное торможение и тем самым терять ранее накопленную кинетическую энергию поезда.

4. Модернизация и усиление конструкции пути, в том числе:

- укладка бесстыкового пути, что уменьшает сопротивление движению, особенно по расчетному подъему и при высоких скоростях движения;

- применение рельсов тяжелых типов Р65 (64,72 кг/пог.м) и типа Р75 (74,4 кг/пог.м) с соответствующим увеличением числа шпал на 1 км;

- укладка более качественного балласта, например щебня;

- применение железобетонных шпал на участках с тепловозной тягой;

- удлинение станционных путей на участках, где их длина ограничивает вес грузовых поездов;

- рациональная расстановка путевых сигналов, исключая необходимость дополнительных торможений и остановки поездов.

5. Уменьшение аэродинамического сопротивления движению подвижного состава, в том числе:

- применение обтекаемых форм подвижного состава и специальных обтекателей-хвостовиков на последнем вагоне существенно уменьшает основное сопротивление. Очень эффективно применение декоративных отбойных щитов на вагонах типа хопер-дозатор и установка гофров, закрывающих межвагонное пространство;

- правильно формировать составы, состоящие из разнотипных вагонов. Однотипные вагоны целесообразно сосредоточить в отдельные группы. Наименьшее сопротивление имеет состав, в котором группы вагонов расположены в следующей последовательности: крытые вагоны, полувагоны, цистерны, а в хвосте поезда размещаются платформы;

- закрывать двери и люки вагонов, что снижает сопротивление воздушной среды.

6. Увеличение диаметра колес вагонов с 950 мм до 1050 мм, что, правда, в свою очередь приведет к увеличению их тары.

7. Смазывание гребней колес локомотива при прохождении кривых участков.

8. Смазывание внутренней боковой грани наружного рельса в кривых небольшого радиуса.

9. Посадка лесных ветрозащитных насаждений (полос) и установка снегозащитных устройств позволяют снизить дополнительное сопротивление от бокового ветра и уменьшают количество снега, попадающего на путь.

Третья группа мероприятий:

1. Поддержание хорошего технического состояния и надлежащего содержания подвижного состава и пути, способствующих снижению основного сопротивления.

2. Обеспечение соответствия сорта смазки буксовых подшипников подвижного состава сезону эксплуатации.

3. Содержание тормозной системы поезда в исправном состоянии, исключающее касание тормозных колодок колёс в нетормозных режимах.

4. Сокращение числа и продолжительности стоянок грузовых поездов, особенно в зимнее время при низких температурах окружающего воздуха, поскольку скорость остывания смазки букс во время стоянок составляет  $0,5...1,2$  °С в минуту при отрицательных температурах воздуха.

### **Контрольные вопросы**

1. Сопротивление движению поезда – это...?
2. Приведите классификацию сил сопротивления движению подвижного состава.
3. Что называют общим сопротивлением движению поезда.
4. Основное сопротивление движению подвижного состава – есть...?
5. Перечислите виды основного сопротивления движению поезда.
6. Дополнительное сопротивление движению подвижного состава –

есть...?

7. Назовите виды дополнительного сопротивления движению поезда.
8. Приведите расчетные формулы по определению сил (полных и удельных) сопротивления движению подвижного состава.
9. Дайте пояснения силам сопротивления при трогании поезда с места.
10. Приведите примеры организационно-технических мероприятий снижения сопротивления движению.
11. Приведите примеры технических (конструктивных) мероприятий снижения сопротивления движению.
12. Приведите примеры организационных мероприятий снижения сопротивления движению.

### **Литература**

1. Кузьмич В.Д., Руднев В.С., Френкель С.Я. Теория локомотивной тяги. – М.: Маршрут, 2005, 448с.
2. Деев В.В. и др. Тяга поездов. - М.: Транспорт, 1987, 264с.
3. Подвижной состав и тяга поездов. Под. ред. В.В. Деева и Н.А. Фурьянского. – М.: Транспорт, 1979, 368с.
4. Абляимов О.С., Ушаков Э.С. Основы управления локомотивов. Учебник для профессиональных колледжей железнодорожного транспорта. – Т.: Издательство «Davt», 2012. - 392 с.

### **Лекция № 11:**

#### **Тормозные силы поезда и режимы торможения**

##### **План лекции**

1. Краткая классификация внешних сил, действующих на поезд.
2. Тормозная сила поезда – основа безопасности движения.
3. Модель образования тормозной силы поезда.
4. Методика расчета тормозной силы поезда.
5. Тормозной коэффициент поезда и его физический смысл.
6. Режимы торможения и тормозной путь поезда.
7. Закон сцепления колесных пар с рельсами при торможении.

Торможение производится для остановки поезда или регулирования его скорости уменьшения кинетической энергии движения.

Тормозная сила поезда – внешняя управляемая машинистом сила, создаваемая тормозными средствами поезда во взаимодействии с рельсами и приложенная к ободам колес в направлении, противоположном движению.

Тормозная сила, как и сила тяги локомотива, является управляемой, но противоположна ей по направлению и поэтому имеет отрицательный знак.

Рассмотрим образование тормозной силы поезда согласно, приведенной расчетной схеме (рис.11.1), где  $B$  - тормозная сила колесной пары, равная силе трения, приведенной к ободам колес. Тормозная сила возникает при трении тормозных колодок и сцепления тормозных колес с рельсами.

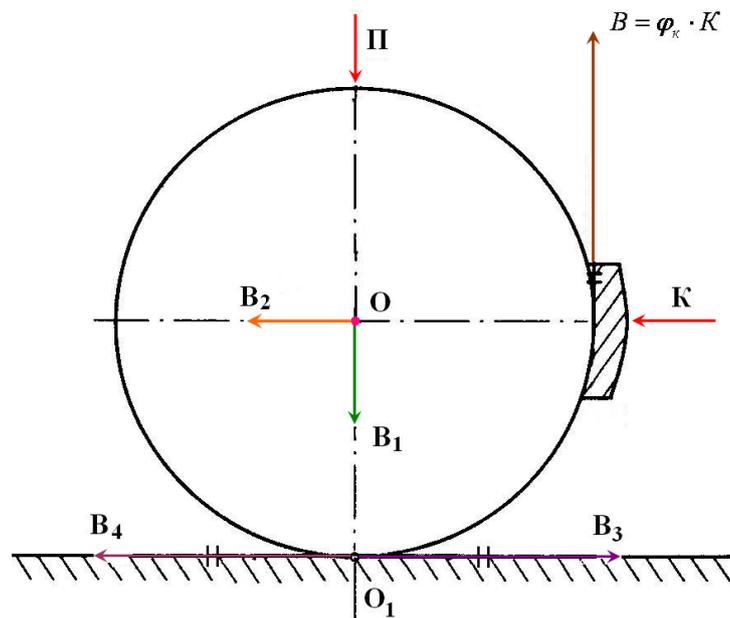


Рис. 11.1. Расчетная схема образования тормозной силы поезда

Сила  $B$  вызывает реакцию  $B_1$  в буксе и таким образом возникает внутренний момент сопротивления, создаваемый парой сил  $B, B_1$ . Заменяем пару сил  $B, B_1$  равновеликой  $B_2, B_3$ . В результате сцепления колеса с рельсом в точке  $O_1$  под действием нагрузки от колесной пары на

рельсы П и силы  $B_3$  возникает по закону противодействия сила  $B_4$ , равная силе  $B_3$ . Сила  $B_2$  стремится вращать колесо вокруг мгновенного центра вращения  $O_1$  в противоположном направлении. Эта сила является внешней потому, что в каждый момент контакта колеса с рельсом колесо закрепляется благодаря силе сцепления в системе пути. Следовательно, эта сила  $B_2$  является тормозной силой. А так как условились относить силы поезда к ободам колес, тогда в расчетах принимают равную ей силу  $B_4$ .

Таким образом, тормозная сила одной тормозной колодкой

$$B = \varphi_K K \quad (11.1)$$

где  $\varphi_K$  – коэффициент трения колодки о колесо;

$K$  – сила нажатия колодки на колесо, кН.

Очевидно, значения  $\varphi_K$  и  $K$  определяют тормозной эффект. Коэффициент трения тормозной колодки зависит от материала тормозной колодки, скорости движения и силы нажатия  $K$ .

Применительно к тормозной оси

$$B_O = \varphi_K K_O \quad (11.2)$$

где  $K_O$  – сила нажатия колодок на колеса одной тормозной оси колесной пары, кН.

Для поезда с числом тормозных осей  $n$  при  $K_O$ , кН, тормозная сила, Н:

$$B_T = 1000 \sum \varphi_K K_O \quad (11.3)$$

где 1000 – коэффициент, зависящий от единиц измерения, переводит «кН» в «Н».

Принимая среднее значение коэффициента трения

$\varphi_K$ , одинаковое для всех колодок поезда, будем иметь, Н

$$B_T = 1000 \varphi_K \sum K_O \quad (11.4)$$

Удельная тормозная сила  $b_T$ , Н/кН, при весе поезда  $P+Q$

$$b_T = 1000 \varphi_K \frac{\sum K_0}{P+Q} \quad (11.5)$$

Отношение суммы сил нажатия тормозных колодок к весу поезда ( $P+Q$ ) называется действительным тормозным коэффициентом

$$\nu = \frac{\sum K_0}{P+Q} \quad (11.6)$$

Тогда, имеем

$$b_T = 1000 \varphi_K \nu$$

Действительный тормозной коэффициент  $\nu$  показывает какая сила нажатия тормозных колодок приходится на единицу веса поезда. Следует отметить, что величина  $\nu$  всегда меньше единицы и не зависит от скорости движения.

При известных расчетных значениях силы нажатия  $K_p$  колодок на тормозную ось подвижного состава и расчетных значениях коэффициента трения  $\varphi_{кр}$  колодок о колеса, полную и удельную тормозные силы поезда представляют в виде

$$B_T = 1000 \varphi_K \sum K_p \quad (11.8)$$

и

$$b_T = 1000 \varphi_K \nu_p \quad (11.9)$$

Для обеспечения безопасности движения поездов ГАЖК «Ўзбекистон темир йўллари» установлены минимальные значения расчетных тормозных коэффициентов:

- для составов грузовых поездов при скорости движения до 90 км/ч - 0,33;
- для рефрижераторных поездов при скорости движения до 120 км/ч - 0,6.

Для пассажирских поездов:

- при скорости движения до 120 км/ч - 0,6;
- при скорости движения до 140 км/ч - 0,78;
- при скорости движения до 160 км/ч - 0,8.

Полное значение расчетного тормозного коэффициента и соответствующая ему удельная тормозная сила реализуются только при экстренном торможении. При полном служебном торможении, когда с помощью тормозных расчетов определяют минимальное расстояние между постоянными сигналами, значение расчетного тормозного коэффициента уменьшают на 20 % и принимают равным  $0,8 v_p$ .

Для торможения поезда применяют следующие режимы торможения: экстренное, полное служебное, служебное и регулировочное.

Экстренное торможение предназначено для остановки поезда в случаях внезапного возникновения опасности. При этом применяются только тормоза механического действия.

Полное служебное торможение применяется для расстановки постоянных сигналов, при этом расчетный тормозной коэффициент поезда принимается  $0,8 v_p$ .

Служебное торможение (применяется тормоза механического действия) производится для остановки поезда на станциях и отдельных пунктах согласно расписанию - тормозной коэффициент установлен  $0,5 v_p$ , а для пассажирских, дизель - и электропоездов  $0,8 v_p$ .

Регулировочное торможение производится для поддержания заданной скорости движения на участке (применяются тормоза механического и электрического действия), а также прямодействующий тормоз локомотива на спусках крутизной не более 5‰ .

Каждый режим торможения характеризуется вполне определенной длиной тормозного пути.

Тормозной путь – это расстояние, проходимое поездом от момента поворота ручки крана машиниста в тормозное положение до полной остановки. Он складывается из подготовительного  $S_{п}$  и действительного тормозного пути  $S_{д}$ , т.е.

$$S_{т} = S_{п} + S_{д}, \text{ м.} \quad (11.10)$$

Нормативы ГАЖК "Ўзбекистон темир йўллари" устанавливают полный тормозной путь на площадке не более: 1000 м – для пассажирских поездов, движущихся со скоростями до 140 км/ч, и грузовых – до 100 км/ч, 1200 м – для пассажирских поездов, движущихся со скоростями до 160 км/ч, и грузовых до 120 км/ч.

Опираясь на эти нормативы производят расстановку сигналов и ограждение мест препятствия, обеспечивающее безопасность движения поездов.

Подготовительный тормозной путь – это расстояние, проходимое поездом от момента перевода ручки крана машиниста в тормозное положение до момента нажатия тормозных колодок с полной силой.

Величину  $S_{\pi}$  рассчитывают по формуле:

$$S_{\pi}=0,278 V_{\text{н}} \cdot t_{\pi}, \text{ м.} \quad (11.11)$$

где  $V_{\text{н}}$  – скорость движения поезда в начале торможения, км/ч;  
 $t_{\pi}$  – время подготовки тормозов к действию, с.

Время подготовки тормозов зависит от длины поезда, типа тормозов и типа воздухораспределителя, тормозной силы поезда и уклона на пути подготовки тормозов. Оно определяется по формуле:

$$t_{\pi} = a - c \cdot i/v_{\text{T}}, \text{ с.} \quad (11.12)$$

где  $a, c$  – постоянные коэффициенты, зависящие от категории поезда, типа тормозов, длины состава и числа осей;  
 $v_{\text{T}}$  – удельная тормозная сила поезда, Н/кН.

При срабатывании автостопа  $t_{\pi}+14$  с, а  $t_{\pi}=60$  с. – ручные тормоза;

Для пассажирских поездов:

при пневматическом торможении  $-t_{\pi}=4-5 i_{\text{сн}}/b_{\text{т}}$ ;

при электропневматическом торможении-  $t_{\pi}=2-3 i_{\text{сн}}/b_{\text{т}}$ .

При определении времени подготовки тормозов к действию принимается замена реальной диаграммы наполнения среднего в поезде тормозного цилиндра условно скачкообразной.

При этом  $t_b$  – время прохождения тормозной волны до среднего вагона поезда;  $t_{ц}$  – время наполнения тормозного цилиндра среднего вагона поезда;  $t_{п}$  – время подготовки тормозов поезда к действию.

На приведенном рис.5.7 показано условное (4) и действительное возрастание давление воздуха в начале торможения в тормозных цилиндрах головного (1), среднего (2) и хвостового (3) вагонов.

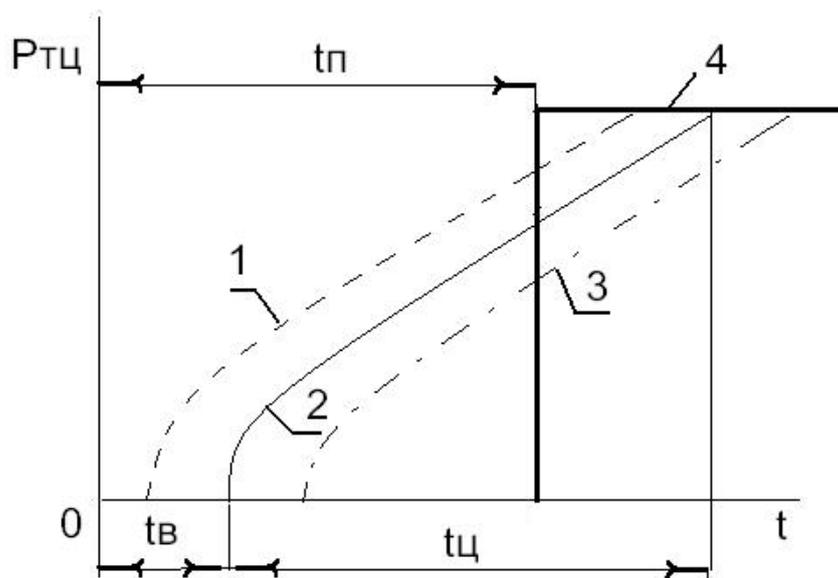


Рис.11.2. Диаграмма возрастания давления воздуха в тормозных цилиндрах вагонов

Действительный тормозной путь – это расстояние, проходимое поездом с прижатыми тормозными колодками (с полной силой) к колесным парам до полной остановки.

Действительный тормозной путь определяется по формуле:

$$S_{д} = \frac{40,85(V_K^2 - V_H^2)}{b_t + w_{ox} + g \cdot i}, м \quad S_{д} = \frac{4,17(V_H^2 - V_K^2)}{(b_t + w_{ox}) + i}, м \quad (11.13)$$

где  $V_H$ ,  $V_K$  – начальная и конечная скорости движения поезда в расчетном интервале, км/ч;

$b_t$  – удельная тормозная сила, действующая на поезд при средней для данного интервала скорости, Н/т;

$i$  – уклон на пути торможения в соответствующем интервале скорости, ‰;

$g$  – ускорение свободного падения,  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ .

Нормативами задаются единые наименьшие тормозные нажатия в зависимости от категории поезда, максимальной скорости движения и спуска, а также установлены расчетные значения нажатий тормозных колодок для различных типов вагонов, локомотивов и моторвагонного подвижного состава.

На спусках круче 20 ‰ для грузовых и пассажирских поездов учитываются тормозные средства локомотива.

Безопасность движения подвижного состава зависит от величины тормозной силы поезда. Если тормозная сила  $B_T$  превысит силу сцепления колесной пары с рельсами, то колеса колесной пары, заклиненные колодкой, начнут скользить по рельсам и их вращение прекратится – наступит явление юза. Сила трения скольжения  $\mu_{2П}$  колесной пары при юзе меньше силы сцепления колес при качении  $\psi_K$  2П (рис. 11.8) вследствие того, что коэффициент трения скольжения меньше коэффициента трения покоя.

Опасность и вредные последствия юза с позиций безопасности движения состоят в увеличении тормозного пути, так как уменьшаются значения тормозной силы и сил основного сопротивления (т.к.  $w_{\text{бп}}=0$ ;  $w_{\text{тк}}=0$ ). Заклинивание колес также приводит к сильному износу рельсов и кругов катания колес колесной пары с образованием на их поверхности ползунов. В дальнейшем такая колесная пара при качении создает удары по рельсам, что отрицательно сказывается на надежности многих элементов экипажа подвижного состава и верхнего строения пути.

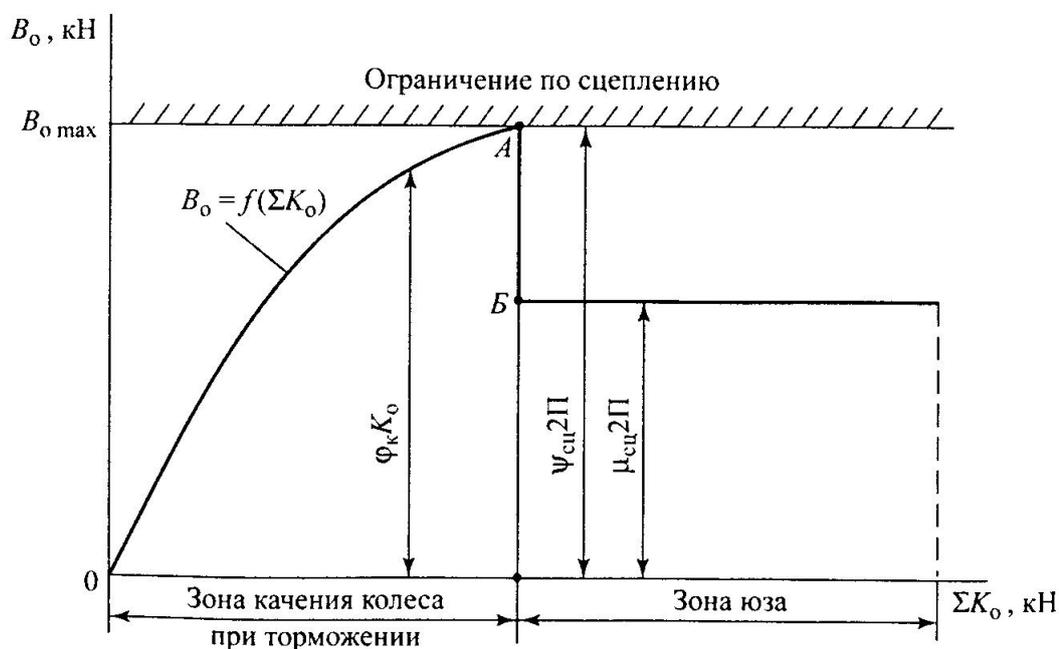


Рис. 11.3. Изменение тормозной силы  $B_0$  при увеличении суммарной силы нажатия  $\Sigma K_0$  колодок на тормозную ось

Во избежание явления юза необходимо соблюдать основное условие при торможении поезда – закон сцепления при торможении, которое можно представить в следующем виде

$$\varphi_k \sum K_0 \leq \psi_k 2\Pi \quad (11.14)$$

Закон сцепления при торможении также можно сформулировать следующим образом: для обеспечения безопасности движения поездов и предотвращения юза ( заклинивание колес, т.е. скольжение колес по рельсам) реактивная сила, создаваемая тормозными средствами на ободах колес, не должна превосходить силу сцепления колес колесной пары с рельсами.

Наибольшая допустимая величина  $\Sigma K_{\max}$  определяется из равенства

$$\frac{\Sigma K_0}{2\Pi} = \frac{\Psi_k}{\varphi_k}. \quad (11.15)$$

Отношение наибольшей силы нажатия тормозных колодок  $\Sigma K_0$  на колесную пару к статической нагрузке на рельсы  $2\Pi$  называют коэффициентом нажатия тормозных колодок и обозначают  $\delta = \Sigma K_0/2\Pi$ . Из приведенного равенства следует, что коэффициент нажатия  $\delta$  зависит от отношения  $\psi_k$  к  $\varphi_k$ , которые в свою очередь зависят от скорости движения, материала колодок и погодных условий.

Так как коэффициент сцепления  $\psi_k$  колес с рельсами зависит от скорости движения  $V$  в меньшей степени, чем коэффициент трения  $\varphi_k$  колодок о колеса колесной пары (рис. 5.9), наибольшая опасность заклинивания колес (юза) возникает при низких скоростях, особенно при трогании с места и разгоне заторможенного вагона, т.е. при  $V \leq V_A$ . а при сравнительно высоких скоростях, наоборот, опасность юза исключается. Восстановление качения колес колесной пары по рельсам осуществляют с помощью специальных противоюзных устройств,

предназначенных для автоматического прекращения юза в момент его возникновения.

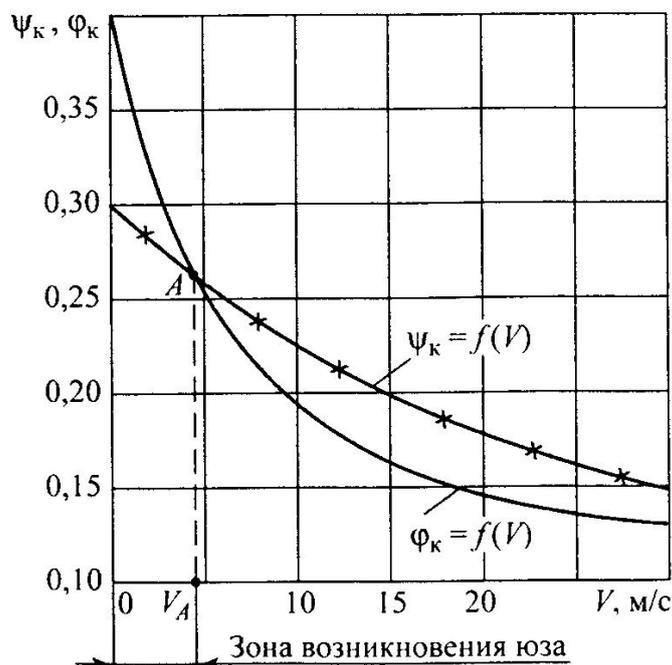


Рис. 1.1.4. Зависимости коэффициентов сцепления  $\psi_k$  и трения тормозных колодок  $\phi_k$  от скорости движения

Так как заклинивание колес вероятнее всего у порожних вагонов, при расчетах принимают: коэффициент нажатия  $\delta=0,6$  от тары порожних грузовых вагонов; для пассажирских вагонов, дизель - и электропоездов  $0,7...0,75$ ; для локомотивов  $0,5...0,6$ . При применении на пассажирских вагонах композиционных колодок -  $\delta=0,3$ [10].

### Контрольные вопросы

1. Тормозная сила поезда – это...?
2. Перечислите режимы торможения и дайте необходимые пояснения к ним.
3. Приведите формулы для расчета тормозной силы поезда.
4. Поясните образование тормозной силы поезда.
5. Тормозной коэффициент поезда и его сущность.
6. Приведите нормативы тормозного коэффициента поезда для различных видов движения.
7. Поясните сущность закона сцепления колес с рельсами при

торможении.

8. Явление юз колесных пар и его особенности.

9. Тормозной путь поезда и его нормативы.

### **Литература**

1. Кузьмич В.Д., Руднев В.С., Френкель С.Я. Теория локомотивной тяги. – М.: Маршрут, 2005, 448с.

2. Деев В.В. и др. Тяга поездов. - М.: Транспорт, 1987, 264с.

3. Подвижной состав и тяга поездов. Под. ред. В.В. Деева и Н.А. Фурьянского. – М.: Транспорт, 1979, 368с.

4. Абляимов О.С., Ушаков Э.С. Основы управления локомотивов. Учебник для профессиональных колледжей железнодорожного транспорта. – Т.: Издательство «Davt», 2012. - 392с.

### **Лекция № 12:**

#### **Уравнение движения поезда и методы расчета массы состава**

##### **План лекции**

1. Дифференциальное уравнение движения поезда.

2. Теоретическое и действительное ускорения поезда в поступательном движении.

3. Железнодорожный путь и его характеристики.

4. Классификация и особенности профиля пути.

5. Расчет массы состава при условии движения с равномерной скоростью на расчетном подъеме.

6. Расчет массы состава с учётом использования кинетической энергии поезда (метод подбора).

7. Расчет массы состава пассажирских поездов.

Уравнением движения поезда называют математическое выражение, связывающее кинематические параметры движения поезда (скорость, время хода) с величинами действующих на него сил.

Движение материальной точки, за которую принимают железнодорожный поезд в его модели, подчиняется второму закону Ньютона в его простейшем виде:  $R = ma$ , где  $R$  - равнодействующая сил, действующих на материальную точку, Н;  $m$  - масса материальной точки, кг, и  $a$  - ее ускорение в прямолинейном поступательном движении, м/с<sup>2</sup>.

Следовательно, и для поезда ускорение (или замедление) его движения прямо пропорционально величине равнодействующей силы, соответствует ее знаку (« + » или « - ») по отношению к направлению движения и обратно пропорционально его массе:  $a=R/m$ .

С другой стороны, как известно, с точки зрения математики ускорение - это производная скорости движения по времени:

$$a = dv/dt.$$

Таким образом, можно написать, что

$$dv/dt = R/m.$$

Последнее выражение и представляет искомую связь кинематических параметров ( $v$  и  $t$ ) с равнодействующей горизонтальных сил  $R$ .

Масса поезда  $M$ , кг:

$$M = 1000 (P + Q) / g$$

Величина равнодействующей зависит от режима движения поезда и работы локомотива:

- в режиме тяги  $R = F_{\kappa} - W_{\kappa}$  ;
- в режиме холостого хода (выбега)  $R = - W_{\kappa}$ ;
- в режиме торможения (например, служебного)  $R = -(0,5B_{\tau} + W_{\kappa})$ .

Рассмотрим уравнение применительно к движению в режиме тяги.

В этом случае (то есть в режиме тяги) для поступательного движения поезда, как материальной точки, выражение второго закона Ньютона можно представить так:

$$\frac{dv}{dt} = \frac{F_{\kappa} - W_{\kappa}}{M} \tag{12.1}$$

Это уравнение справедливо именно для поступательного движения. Однако при поступательном движении железнодорожного поезда отдельные узлы подвижного состава (колесные пары, якоря тяговых электродвигателей и зубчатые колеса тяговых редукторов локомотивов, подвагонные генераторы пассажирских вагонов и т.п.), двигаясь поступательно, одновременно вращаются. На их вращение затрачивается часть полезной работы энергетической установки локомотива. Это следует принять во внимание при составлении уравнения движения поезда.

Работа движущей силы при движении поезда в режиме тяги, например, затрачивается на преодоление сил сопротивления движению подвижного состава и увеличение (точнее, изменение) его кинетической энергии.

Кинетическая энергия тела  $A_{кин}$ , совершающего сложное (поступательное и вращательное) движение, как известно из механики, складывается из его энергии в обоих видах этого движения:

$$A_{кин} = \frac{mv^2}{2} + \Sigma \frac{I\omega^2}{2}$$

где  $\frac{mv^2}{2}$  кинетическая энергия поступательного движения тела ( $m$  - его масса,  $v$  - скорость поступательного движения), а под знаком суммы ( $\Sigma$ ) складываются величины кинетической энергии всех вращающихся частей;  $I$  - их моменты инерции, а  $\omega$  - угловые скорости их вращения.

Применяя это выражение к поезду, мы можем выразить угловые скорости вращающихся частей  $\omega$  через скорость поступательного движения поезда  $v$ , приведя их одновременно (через передаточные отношения) к радиусу ведущего колеса локомотива:  $\omega = v/r$ . Тогда получим:

$$A_{кин} = \frac{mv^2}{2} + \frac{v^2}{2} \Sigma \frac{I}{R^2}$$

Величины типа  $(I/R^2)$  имеют размерность массы, поэтому обозначим их сумму как  $m_э$  - эквивалентную массу вращающихся частей поезда - и вынесем за скобки величину кинетической энергии поступательного движения. Тогда

$$A_{кин} = \frac{mv^2}{2} \left[ 1 + \frac{m_э}{m} \right]$$

Отношение  $m_s/m$  называют коэффициентом инерции вращающихся масс и обозначают его греческой буквой  $\gamma$  («гамма»).

Следовательно, произведение  $M(1+\gamma)$  можно назвать приведенной массой поезда. Тело с такой массой по затратам энергии в поступательном движении эквивалентно реальному поезду массой  $M$ , движущемуся поступательно и имеющему вращающиеся массы. Это позволяет выразить уравнение поступательного движения поезда с действительной массой  $M$  как

$$\frac{dv}{dt} = \frac{F_K - W_K}{M(1+\gamma)} = \frac{F_K - W_K}{P+Q} \cdot \frac{g}{1000(1+\gamma)} \quad (12.2)$$

Дробь  $g/1000(1 + \gamma)$  в выражении (12.2) является как бы удельным ускорением, то есть ускорением под действием единицы силы на единицу веса поезда. Ее обозначают греческой буквой  $\zeta$ , («дзета»).

Отношение  $(F_K - W_K), H/(P+Q)$ , кН, представляет собой удельную равнодействующую, то есть разность соответствующих удельных сил тяги и сопротивления  $(f_K - w_K)$ , Н/кН, при движении поезда в режиме тяги.

В результате подстановок получаем очень простой вид дифференциального уравнения движения поезда (в режиме тяги):

$$\frac{dv}{dt} = \zeta(f_K - w_K) \quad (12.3)$$

Полученное общее уравнение (12.3) справедливо и в математическом, и в физическом планах.

Так как удельные силы тяги и сопротивления движению (разность в скобках) с точки зрения физики величины безразмерные, то величина постоянной  $\zeta$  имеет размерность ускорения. Она и представляет собой величину удельного ускорения - ускорения, с которым движется тело под действием единичной удельной силы, 1 Н/кН, то есть под действием силы в 1 ньютон (Н) на единицу веса тела, за которую принят 1 килоньютон (кН).

Аналогичные выражения уравнения движения поезда для других режимов движения поезда будут, очевидно, выглядеть так:

- для движения в режиме выбега (холостого хода)

$$\frac{dv}{dt} = \zeta(-w_K) \quad (12.4)$$

- для режима торможения (служебного)

$$\frac{dv}{dt} = -\zeta(0,5b_m + w_k) \quad (12.5)$$

Уравнение движения поезда, по существу, является вторым законом локомотивной тяги (первый, или основной закон - закон сцепления).

Необходимо отметить, что при выводе этого уравнения, так же как и при выводе закона сцепления, не было ни слова сказано как о типе локомотива, о виде его энергетической установки, автономный он или неавтономный и т.п., так и о характеристиках и особенностях всего поезда (грузовой или пассажирский, тип вагонов и т.п.).

Уравнение имеет общий характер, оно не зависит от перечисленных особенностей и одинаково определяет характер движения локомотива с поездом в зависимости от действующих на него сил при любом виде тяги, при любой мощности локомотива и при любой составности и массе поезда и т.д.

Численное значение постоянной  $\zeta$ , в дифференциальном уравнении движения поезда подлежит уточнению, так как оно зависит от выбранных единиц измерения сил, скорости и времени:

$$\zeta = \frac{g}{1000(1 + \gamma)},$$

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

Но, так как нами принята другая единица измерения скорости (не м/с, как в физике, а км/ч), численное значение величины  $g$  следует уточнить, а именно:

$$g = 9,81 \text{ м/с}^2 = 9,81 \cdot \frac{60^2 \cdot 60^2}{1000} = 127138 \text{ км/ч}^2 = 127000 \text{ км/ч}^2.$$

Тогда

$$\zeta = 127 / (1 + \gamma)$$

Величина коэффициента инерции вращающихся масс  $g$  имеет различные значения для разных типов подвижного состава. Естественно, что для локомотивов, у которых с ведущими колесными парами связаны якоря тяговых электродвигателей и зубчатые колеса тяговых редукторов, величина этого коэффициента имеет большие значения, чем у других типов подвижного состава (у электропоездов до 0,24 - 0,28, у грузовых тепловозов -

0,11 - 0,12). Для грузовых вагонов в груженом состоянии  $\gamma = 0,03 - 0,04$ , в порожнем состоянии - 0,08 - 0,09; для пассажирских вагонов  $\gamma = 0,04 - 0,05$ .

Величина коэффициента инерции вращающихся масс для конкретного поезда зависит от его состава: типов локомотива и вагонов, загрузки последних и т.п. Она может быть подсчитана, если эти данные известны. Но эти величины могут сильно различаться даже для однотипных поездов. Тем более они не могут быть известны при общих и проектных расчетах.

Поэтому, как и всегда в тяговых расчетах, может быть использован обобщенный расчетный прием.

Если принять в качестве условного средневзвешенного значения коэффициента инерции вращающихся масс всего поезда величину  $\gamma = 0,06$  (точнее, 0,058), то получим для поезда расчетную среднюю численную величину удельного ускорения  $\zeta = 127 / (1 + 0,058) = 120 \text{ км/ч}^2$ .

Это позволяет нам, в зависимости от выбора удобной единицы измерения ускорения, получить три различные вида дифференциального уравнения движения поезда в режиме тяги:

$$\frac{dv}{dt} = 120(f_K - w_K), \text{ км/ч}^2 \quad (12.6)$$

$$\frac{dv}{dt} = 2(f_K - w_K), \text{ км/ч} \cdot \text{мин}; \quad (12.7)$$

$$\frac{dv}{dt} = \frac{1}{30}(f_K - w_K), \text{ км/ч} \cdot \text{с} \quad (12.8)$$

Величина и знак ускорения в уравнении движения поезда

$$\frac{dv}{dt} = \zeta(f_K - w_K)$$

зависят от величины и знака разности удельных сил в скобках. Поэтому возможны три варианта соотношения этих сил в режиме тяги:

а)  $f_K > w_K$ ;  $\frac{dv}{dt} > 0$  - движение ускоренное;

б)  $f_K < w_K$ ;  $\frac{dv}{dt} < 0$  - движение замедленное;

в) промежуточный вариант:

$f_K = w_K; \frac{dv}{dt} = 0$ , следовательно,  $v = const$  — движение равномерное.

Наиболее важными характеристиками железнодорожного пути являются ширина рельсовой колеи, план и продольный профиль пути.

Ширина рельсовой колеи – есть стандартное расстояние между внутренними гранями головок рельсов.

Железнодорожный путь в плане – сочетание прямолинейных («прямых») и, имеющих постоянный радиус кривизны, криволинейных («кривых») участков различной протяженности (длины), соединённых друг с другом переходными кривыми с постепенно изменяющимся по величине радиусом кривизны, что является необходимым условием для обеспечения более плавного и безопасного изменения направления движения поездов. Общая длина кривой, включая переходные –  $S_{кр}$ , м; радиус кривой  $R$ , м и её центральный угол  $\alpha$  в градусах связаны между собой соотношениями

$$S_{кр} = \frac{2\pi R \alpha}{360}.$$

Продольный профиль пути – совокупность отдельных горизонтальных или наклонных под различными углами к горизонту прямолинейных отрезков пути – элементов профиля, которые, аналогично элементам плана пути, на стадии проектирования и строительства соединяются между собой кривыми постоянного радиуса кривизны, не учитываемыми при производстве тяговых расчётов.

Поэтому каждый элемент продольного профиля пути обозначают (задают) значениями двух величин: длина элемента  $s$ , м и уклон (крутизна) элемента –  $i$  ‰. Здесь тысячная (‰) означает тангенс угла наклона прямолинейного отрезка к горизонтали, следовательно, у элемента, крутизна которого соответствует одной тысячной, изменение высоты его конечной точки на длине в один километр будет составлять один метр.

При выполнении тяговых расчётов продольный профиль участка железнодорожного пути представляют условно в виде таблицы или одномерного, соблюдая масштаб лишь по длине элементов, изображения.

Наряду с конструктивными особенностями железнодорожного пути существенное влияние на характер движения поездов и перевозочную работу локомотивов будут оказывать следующие элементы профиля пути – расчётный и проверяемый (инерционный) подъёмы, руководящий спуск.

Расчётный подъём  $i_p$  – это самый трудный элемент участка железнодорожного пути, характеризующийся подъёмом наибольшей крутизны и наибольшей протяжённости, на котором поезд номинальной (максимальной) массы будет двигаться с равновесной скоростью равной расчётной и соответствующей этой скорости расчётной силы тяги локомотива.

Проверяемый (инерционный) подъём  $i_{пр}$  – это наиболее крутой подъём (даже бóльшей крутизны, чем расчётный) относительно небольшой протяженности, которому предшествуют «легкие» элементы профиля пути (спуски, площадки и подъёмы, сравнительно небольшой крутизны), где поезд, разгоняясь, может развить довольно высокую скорость движения, что позволит ему преодолеть такой подъём «по инерции» за счёт использования, накопленной на предшествующих элементах, кинетической энергии.

Руководящий спуск  $i_{сп}$  – это элемент профиля пути, который имеет наибольший (максимальный) по крутизне спуск с учётом сопротивления от кривых, протяженностью более тормозного пути поезда. Длина полного тормозного пути поезда принимается равной 1000 метров – на спусках крутизной до 6‰ включительно и 1200 метров – на спусках круче 6‰.

В зависимости от сочетания групп элементов различной крутизны с учётом их удельной протяжённости на общей длине участка железнодорожной линии различают четыре типа профиля пути, которые, в свою очередь, можно разделить на следующие два вида.

Участки железных дорог с профилем пути первого вида имеют один или несколько, ярко выраженных, наиболее крутых подъёма достаточно большой (затяжной) длины, протяжённость которых обеспечивает условия движения поезда на таких подъёмах с равновесной (равномерной) скоростью.

Второй вид профиля пути также характеризуется наличием наиболее крутых, но незначительных по протяжённости подъёмов, на которых скорость движения поезда, постепенно снижаясь, не достигает своего равновесного (равномерного) по величине значения.

Расчёт массы поезда производят исходя из принципа полного использования мощности и тяговых качеств локомотива, а также кинетической энергии поезда при движении на каждом конкретном элементе профиля пути с учётом выполнения условий эксплуатационной надёжности и устойчивости движения.

Расчет массы состава при условии движения с равномерной скоростью на расчётном подъёме ведут из условия равенства касательной силы тяги, силам сопротивления при движении поезда с равномерной скоростью, опираясь на уравнение движения поезда, т.е.

$$F_{кр} = (\omega_o'' + i_p) \cdot Qg + (\omega_o' + i_p) \cdot Pg \quad (12.9)$$

Откуда

$$Q = \frac{F_{кр} - (\omega_o' + i_p) \cdot Pg}{(\omega_o'' + i_p) \cdot g} \quad (12.10)$$

где  $F_{кр}$  - расчётная сила тяги локомотива, Н;

$P$  - расчётная масса локомотива, т;

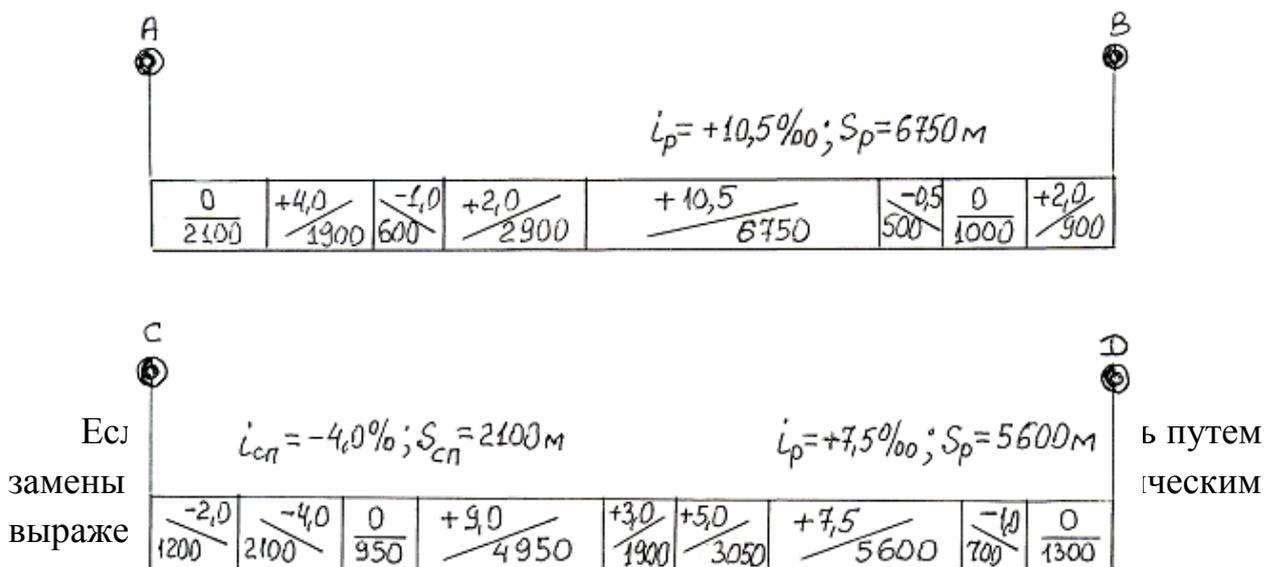
$\omega_o'$  - основное удельное сопротивление движению локомотива Н/кН;

$\omega_o''$  - основное удельное сопротивление движению состава Н/кН;

$i_p$  - крутизна расчётного подъёма, ‰;

$g$  - ускорение свободного падения,  $g=9.81 \text{ м/с}^2$ .

Следовательно, выражение (12.10) позволяет рассчитать массу состава, которую заданный локомотив может провести по расчётному подъёму любой протяжённости не снижая при этом скорость движения ниже расчётной.



$$i_{кр} = \frac{700}{R_{кр}} \quad (12.11)$$

Тогда, значение расчётного подъёма для подстанции в выражение (12.10) будет являться результатом сложения величин фиктивного и действительного уклона на расчётном подъёме -  $i_p = i + i_{кр}$ .

Если на расчётном и труднейших подъёмах имеются кривые малого радиуса (для электрической тяги – менее 800м), снижение расчётного коэффициента сцепления учитывать пропорционально поправочному коэффициенту  $K_{кр}$  для всех видов тяги по формуле:

$$\psi_{K_{кр}} = \psi_p \cdot K_{кр} \quad (12.12)$$

$$K_{кр} = \frac{250 + 1,55 \cdot R}{500 + 1,1 \cdot R} \text{ - для электрической тяги}$$

$$K_{кр} = \frac{3,5 \cdot R}{400 + 3 \cdot R} \text{ - при тепловозной тяге}$$

Если тяговые расчёты выполняются при пониженном напряжении в контактной сети, то тяговую характеристику перестраивают по формуле:

$$V' = V \cdot \frac{U'_s}{U_s} \quad (12.13)$$

где  $V$  - скорость по тяговой характеристике при нормальном напряжении  $U_s$ , на данной позиции и при этой же силе тяги;

$U'_s$  - расчётное пониженное напряжение на токоприёмнике;

Ограничение силы тяги по сцеплению, ограничение по току и режим работы (позиция регулирования) грузовых электровозов на расчётном подъёме и электропоездов остаются, как при нормальном напряжении. Касательные силы тяги при трогании с места не меняются. У электровозов ВЛ60 и ВЛ60<sup>П</sup> корректировку расчётной скорости движения не производят.

У тепловозов изменение касательной силы тяги в зависимости от атмосферных условий, отличающихся от стандартных ( $P_0=760\text{мм.рт.ст.}=1013\text{гПа}$ ,  $t_{нв}=+20^\circ\text{C}$ ), учитывают по формуле:

$$F_k = F_{ко} \cdot (1 - K_t - K_p) \quad (12.14)$$

где  $F_{ко}$  – сила тяги при стандартных атмосферных условиях;

$K_t$  - коэффициент, учитывающий снижение мощности дизеля от изменения температуры наружного воздуха;

$K_p$  - коэффициент, учитывающий снижение мощности дизеля от изменения атмосферного давления.

Для пассажирских и ускоренных грузовых поездов скорость и силу тяги на расчётном подъёме определяют на основании установленной (заданной) массы составов. С этой целью на планшете тяговой характеристики строят кривую полного сопротивления в зависимости от скорости движения  $W_k = f(v)$  и в пересечении её с жирной линией тяговой характеристики находят искомые  $F_{кр}$  и  $V_p$  на заданном расчётном подъёме.

Расчёт массы состава с учётом использования кинетической энергии поезда производят, когда на участке пути, по которому движется поезд, отсутствует явно выраженный расчётный подъём. В этом случае массу состава определяют методом подбора. Для этого за расчётный принимают подъём, у которого крутизна меньше наибольшей, а по длине он достаточно затяжной и далее определяют массу состава  $Q$  при равномерном движении с расчётной скоростью на этом подъёме по формуле (12.10). Полученную массу состава проверяют на прохождение поездов участков профиля пути с подъёмами бо́льшей крутизны, чем принятый расчётный подъём с учётом использования кинетической энергии поезда. Упомянутую проверку производят аналитическим или графическими способами. При любом способе проверки расчёты начинают с элементами профиля, для которого скорость движения поезда может быть заранее известна – остановочный пункт, ограничение скорости, равновесная скорость на элементах профиля пути перед проверяемым подъёмом...

Аналитический способ проверки заключается в сопоставлении фактической длины проверяемого подъёма  $S_{np}$  с длиной подъёма  $S_i$ , которую поезд может преодолеть в режиме тяги с использованием кинетической энергии при снижении скорости от наибольшей возможной в начале проверяемого подъёма  $V_n$  до расчётной скорости в его конце  $V_k = V_p$ . Интервалы изменения скорости следует брать в пределах 10 км/ч, а длину подъёма  $S_i$  определять по формуле:

$$S_i = \frac{4,17 \cdot (V_{Ki}^2 - V_{Hi}^2)}{(f_k - \omega_k)_i} \quad (12.15)$$

где  $V_{Ki}^2, V_{Hi}^2$  - начальная и конечная скорость интервала, км/ч;

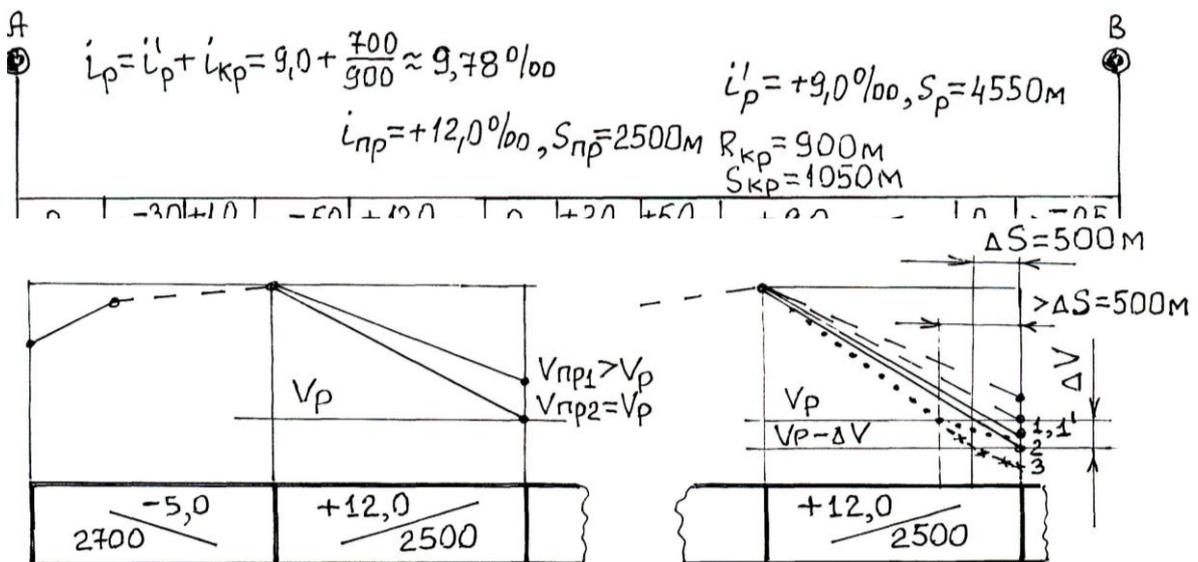
$(f_k - \omega_k)_i$  - средняя ускоряющая сила, действующая на поезд в пределах интервала скорости от  $V_{ni}$  до  $V_{ki}$ , н/кН.

Критерием окончания аналитической проверки является удовлетворение условию неравенства:

$$S_i \geq S_{пр} \quad (12.16)$$

В этом случае делают вывод, что массу состава следует считать определившейся, так как поезд надёжно преодолевает подъём большей крутизны, чем расчётный, за счёт использования кинетической энергии, накопленной перед началом проверяемого элемента профиля пути.

При графическом способе проверки определяют скорость движения поезда в конце проверяемого подъёма, опираясь на кривую скорости  $V=f(S)$ , построенную по диаграмме ускоряющих сил поезда. Если скорость движения в конце проверяемого подъёма окажется равной или будет несколько выше расчётной скорости для данной серии локомотива, то рассчитанную массу состава следует считать определившейся.



Согласно ПТР разрешается скорость выхода с проверяемого подъёма принимать следующую:

- а) для электровозов постоянного тока и двойного питания (ВЛ82, ВЛ82<sup>М</sup>) – по значению скорости при полном возбуждении последовательно – параллельного соединения тяговых электродвигателей;

б) для электровозов переменного тока – по значению скорости при нормальном возбуждении на 21-й позиции у электровозов серии ВЛ60<sup>К</sup>, ВЛ60<sup>Р</sup>, ВЛ60<sup>Т</sup>, ВЛ60<sup>С</sup> и 0,5 зоны 3 для электровоза ВЛ80<sup>Р</sup>;

в) для тепловозов ТЭЗ, М62 и 2М62 – 16 км/ч; тепловозов типа ТЭ10 и 2ТЭ116 – 20 км/ч при выходе на ограничение по сцеплению с переходом на режимы, соответствующие промежуточным позициям контроллера машиниста.

При этом протяженность пути, проходимого со скоростью меньшей, чем расчётная, для всех локомотивов не должна превышать 500 м.

Расчёт массы состава пассажирского поезда производят исходя из условия лучшего обслуживания, которая колеблется от 700 до 1200 т. Массу состава пассажирского поезда проверяют по композиции вагонов, включенных в состав и сравнивают с предварительно намеченным, а также по длине приёмо-отправочных платформ ( $L_{пл}=350...400\text{м}$ ) с учётом удобства отправления и прибытия.

#### Контрольные вопросы

1. Уравнение движение поезда – это ...?
2. Что такое физическая модель поезда.
3. Что «лежит» в основе вывода уравнения движения поезда.
4. При составлении уравнения движения поезда принимают во внимание ...?
5. Что представляет собой коэффициент инерции вращающихся масс.
6. Приведенная масса поезда – это ... ?
7. Дайте пояснения по-поводу теоретического и действительного ускорения поезда в поступательном движении.
8. Приведите дифференциальное уравнение движения поезда для режима тяги.
9. Вид дифференциального уравнения движения поезда в режимах холостого хода и торможения.
10. Что является первым и вторым законами локомотивной тяги.
11. В чем состоит цель решения уравнения поезда.
12. Методы решения уравнения движения поезда и их сущность (на примере одного из методов решения).
13. Приведите аналитическое решение дифференциального уравнения движения поезда.

14. Численное (приближение) решение уравнения движения поезда.
15. Приведите варианты возможного характера движения поезда в режиме тяги, опираясь на уравнение движения поезда.
16. Перечислите характеристики железнодорожного пути.
17. Железнодорожный путь в плане – это...
- 18.. Продольный профиль пути – это...
19. Какой элемент профиля является расчётным подъёмом.
20. Чем характеризуется инерционный (проверяемый) подъём.
21. Руководящий спуск – это...
22. Равновесная скорость движения поезда и методика её определения.
23. Классификация профиля пути и его виды.
24. Методы расчёта массы состава и их особенность.
25. Расчёт массы состава при условии движения с равномерной скоростью на расчётном подъёме.
26. Расчёт массы состава с использованием кинетической энергии поезда.
27. Методика определения  $F_{кр}$  и  $V_p$  для пассажирских и ускоренных грузовых поездов.
28. Способы проверки рассчитанной массы состава и их сущность.
29. О рекомендациях ПТР по скорости выхода с проверяемого (инерционного) подъёма.
30. Сущность проверки массы состава при трогании с места.
31. Как проверяется масса состава по длине приемо-отправочных путей.
32. Расчёт массы состава пассажирских поездов.

#### Литература

1. Кузьмич В.Д., Руднев В.С., Френкель С.Я. Теория локомотивной тяги. - М.: Маршрут, 2005, 448с.

2. Деев В.В. и др. Тяга поездов. – М.: Транспорт, 1987, 264с.
3. Подвижной состав и тяга поездов. Под ред. В.В.Деева и Н.А.Фуфрянского. - М.: Транспорт, 1979, 368с.
4. Бабичков А.М., Гурский П.А., Новиков А.П.. Тяга поездов и тяговые расчёты. – М.: Транспорт, 1971, 280с.
5. Правила тяговых расчётов для поездной работы. – М.: Транспорт, 1985, 288с.

## **Лекция № 15:**

### **Локомотивное хозяйство**

#### **План лекции**

1. Назначение и структура локомотивного хозяйства АО «Ўзбекистон темир йўллари».
2. Локомотивный парк, организация эксплуатации локомотивов и работы локомотивных бригад.
3. Организация ремонта локомотивов в депо.

#### **3.1. Особенности управления работой локомотивного парка в ГАЖК «Ўзбекистон темир йўллари»**

Вначале приведем основные параметры железнодорожной инфраструктуры ГАЖК «Ўзбекистон темир йўллари», где эксплуатационная длина железнодорожных путей составляет 4230 километров, а общая их протяженность с учетом станционных путей равняется 6473 километрам.

Магистральные железнодорожные пути разделяют на двухпутные и однопутные участки, соответственно, в 392км (9,3%) и 3838км (90,7%), 54,6% из которых обеспечены автоблокировкой и оставшиеся 45,4% - полуавтоблокировкой. Управление работой локомотивного парка на 600км железнодорожных путей осуществляется при помощи волоконной оптической линией связи, а бесстыковой путь и электрификация составляют, соответственно, 55,8% (2360км) и 16,3% (69км). На железнодорожных участках протяженностью в 1819километров (или 43%), оборудованных

диспетчерской централизацией управление осуществляется ЕДЦ ГАЖК «Ўзбекистон темир йўллари».

Локомотивный парк железнодорожной отрасли Узбекистана насчитывает 982,5 секций, из которых поездные и маневровые тепловозы составляют, соответственно, 546 и 256 секций, электровозов в наличии 144 секции (без учета 15-и электровозов Ўзбекистон-йўловчи) и 36,5 электросекций пригородного движения. В настоящее время упомянутый локомотивный парк пополнился двумя электропоездами «Afrosiyob», посредством которых организовано высокоскоростное движение на участке Ташкент - Самарканд-Ташкент.

Обслуживание поездов локомотивами производится различными способами в зависимости от размещения на железнодорожной линии основных и оборотных депо, транзитности поездопотока, протяженности тяговых плеч. На рис. 3.1 показаны основные схемы обслуживания поездов локомотивами, где обозначены способы: а–плечевой, б–кольцевой, в–петлевой и г–по системе накладных плеч.

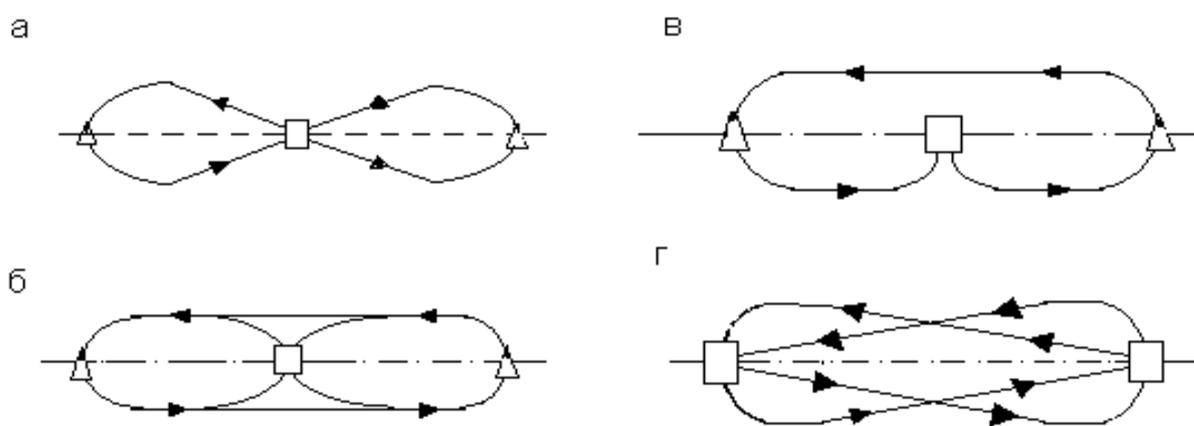


Рис. 3.1 Способы обслуживания поездов локомотивами

Плечевой способ (рис.3.1,а.) применяется при значительной протяженности тяговых плеч и небольшой транзитности поездопотока по станции основного депо. При размещении основного депо на сортировочной станции отцепки локомотивов от поездов и заходы в депо для экипировки,

технического обслуживания и текущего ремонта совпадают с поступлением поездов в расформирование.

Кольцевой способ (рис.3.1,б) применяется при протяженности тяговых плеч, достаточной для проследования локомотивами станции основного депо без отцепки от поезда до следующего пункта оборота.

При этом по станции основного депо должна иметь место существенная транзитность поездопотока. Локомотив работает «по кольцу» до очередного технического обслуживания ТО-3, которое производится в основном депо. Экипировка локомотива может выполняться как в пунктах оборота, так и на станции основного депо и даже (при необходимости) на промежуточных станциях. Экипировка локомотива на станции основного депо при кольцевой езде обычно осуществляется без отцепки от поезда, для чего на станционных отправочных путях сооружаются экипировочные устройства для снабжения песком и смазкой, а тепловозов еще и дизельным топливом и водой. В случаях, когда на приемоотправочных путях нет экипировочных устройств, локомотив отцепляют от поезда и подают для экипировки на специальные пути, расположенные поблизости от приемоотправочных. Техническое обслуживание ТО-2, как правило, должно выполняться в пунктах оборота.

При кольцевом способе снижается загрузка горловин приемоотправочных парков станций основного депо, увеличивается пропускная способность станции и сокращается простой поездов.

Петлевой способ (рис.3.1,в) является промежуточным между кольцевой и плечевой ездой. Локомотивы следуют без отцепки от поездов по станции основного депо только в одном направлении. При обратном следовании локомотив сцепляется от поезда и заходит в основное депо для экипировки или технического обслуживания. Этот способ может быть вызван необходимостью переработки поездов одного направления на станции основного депо, нерациональным расположением парков оправления на этой

станции, отсутствием экипировочных устройств на станционных путях, потребного выполнения технического обслуживания локомотивов в основном депо.

При кольцевом способе работы локомотивов потребность в эксплуатируемом парке сокращается примерно на 6-9%, а при петлевом – на 3-4%, по сравнению с плечевым способом. В реальных условиях на участках обращения большой протяженности и в зонах обращения сложной конфигурации локомотивы между двумя заходами в основное депо на техническое обслуживание ТО-3 могут сделать несколько плечевых, кольцевых и петлевых поездок.

Если тяговое плечо располагается между двумя основными депо, то поезда могут обслуживаться локомотивами по системе накладных плеч (рис.3.1,г). Этот способ является разновидностью плечевого. Он дает более широкие возможности обеспечения поездов локомотивами, но требует четкого планирования поездной работы в соответствии с графиком движения поездов.

В основном различают два способа обслуживания локомотивов поездов локомотивными бригадами—это сменная езда, когда бригада может совершать поездку на любом локомотиве эксплуатируемого парка и прикрепленная езда, когда на локомотиве могут совершать поездки только прикрепленные к нему две...четыре бригады. В условиях эксплуатации локомотивов на железнодорожных участках ГАЖК «Ўзбекистон темир йўллари» сменная езда является основной. Сменная езда, по сравнению с прикрепленной, позволяет повысить производительность и уменьшить потребность локомотивного парка за счет ликвидации простоев в ожидании отдыха бригад в оборонных пунктах, сокращения числа перецепок и заходов в депо, а также лучше планировать и нормализовать труд и отдых бригад, ускорить перевозки народно-хозяйственных грузов и пассажиров.

Кроме этого, различают работу локомотивных бригад по короткому, когда отдых в оборотном пункте не предоставляется и длинному, когда предоставляется отдых в пунктах смены после рейса, бригадному плечам.

Явка локомотивных бригад в депо для очередной поездки обеспечивается разными способами, а именно: по вызову, нарядам и именованным расписаниям.

По вызову, локомотивной бригаде не устанавливается время очередной явки после поездки она вызывается по телефону или рассылным по потребности и после истечения нормы отдыха.

По нарядам, локомотивной бригаде устанавливается время явки после каждой поездки, при этом статистическим путем определяют интервалы явок бригад в течение суток с учетом неравномерности движения.

Именованные расписания бригад планируют время работы и отдыха в течение декады или месяца на основе графика движения поездов, нормализуют труд и обеспечивают полноценный отдых, и которые могут быть с нумерацией поездов, обслуживаемых бригадой и указанием времени их отправления, а также без нумерации поездов, но с регламентацией явки бригад по интервалам времени.

Именованные расписания с нумерацией поездов составляются по ведомости оборота бригад, разрабатываемой на основе графика движения поездов устойчивого обращения подобно графика оборота локомотивов, а также с учетом нормативов ГАЖК «Ўзбекистон темир йўллари» и местных норм времени бригад.

Именованные расписания с нумерацией поездов не предусматривают потерь времени в ожидании поездов бригадами. В действительности же они возникают при опрвлении поездов по любой свободной нитке графика вследствие неравномерности движения поездов. Возникают также простои составов в ожидании явки бригад ко времени именованного расписания.

Именные расписания по интервалам времени предусматривают некоторую потерю времени бригад в ожидании опарвления поездов, но оказываются эффективными при опарвлении их по любой свободной нитке графика, а также при густых поездопотоках.

Работая в зоне обращения, где на двух или более участков обращения работа локомотивов одного или разных депо организуется по единому плану, нередко локомотивы выходят за пределы регионального железнодорожного узла (РЖУ), на которой расположено основное депо их приписки. В этих условиях резко повышаются требования к оперативному управлению работой и регулированию парка локомотивов. Диспетчерский аппарат ЕДЦ полностью отвечает за эффективное использование локомотивов в пределах своих границ независимо от расположения и подчиненности депо их приписки. Эксплуатации локомотивов и депо следят за техническим состоянием локомотивов бригадами, с учетом повышения их квалификации.

Важной компонентой оперативного управления является оперативное планирование работы локомотивов. Оно базируется на следующих принципах:

1. Основой оперативного планирования работы локомотивов является план поездной работы как составная часть оперативного плана эксплуатационной работы дороги и РЖУ, который (варианты размеров движения) объявляется руководителям станций, локомотивных депо, пунктов смены локомотивных бригад и другим причастным к организации перевозочного процесса работникам.

2. Эксплуатируемый парк локомотивов для вариантов движения по участкам обслуживания бригад определяется по коэффициенту потребности локомотивов на пару поездов, подсчитанному из ведомостей оборота по графику движения поездов. Для местной работы величина эксплуатируемого парка локомотивов определяется в основном техническими нормами с

учетом конкретной величины вагонопотоков. Общий эксплуатируемый парк локомотивов для направления или зоны обслуживания, РЖУ и дороги в целом определяется суммированием подсчитанных парков локомотивов по участкам обслуживания бригад и для местной работы.

3. Особое внимание обращается на соблюдение принципа равночисленного обмена локомотивами по стыковым пунктам между региональными железнодорожными узлами, что позволяет избежать возникновения избытка или недостатка локомотивов на отдельных участках их обращения.

4. В суточных и сменных заданиях предусматривается:

- обмен локомотивами;

- направление локомотивов в депо приписки или в ПТОЛ для выполнения технических обслуживания (ТО-2 и ТО-3) и периодических ремонтов (ТР-1 и др.) в строгом соответствии с планом технического обслуживания и ремонта;

- отставление локомотивов от работы с перечислением в резерв дороги (на срок не менее 10 суток) или введение локомотивов из указанного резерва эксплуатацию при возрастании размеров движения;

- регулировочные меры, обеспечивающие отправление поездов.

5. Сменные задания линейным подразделениям устанавливают пономерное назначение поездов и подвязку локомотивов по их номерам, а также время опрвления и номера локомотивов, следующих резервом.

6. В соответствии с планом поездной работы определяется потребность в локомотивных бригадах, составляется расписание их работы, включая направление бригад пассажирами в пункты их смены и отдыха.

Другой важной частью оперативного управления работой локомотивов является диспетчерское руководство, цель которого заключается в обеспечении поездов локомотивами в соответствии с запланированным порядком и восстановлением этого порядка при его нарушении с наименьшими издержками за счет использования различных резервов ускорения оборота.

На железных дорогах ГАЖК «Ўзбекистон темир йўллари» непосредственно руководя движением поездов, а значит и эксплуатационной деятельностью локомотивов поездные диспетчеры и поэтому улучшение использования локомотивов является важнейшей их обязанностью.

## **2.1. Классификация показателей работы и использования локомотивного парка**

Действующая система разделения локомотивного парка предназначена для определения потребности локомотивов по видам работы; нормирования, планирования, учета объема работы и оценки качества использования локомотивного парка; финансирования, материально-технического обеспечения и анализа деятельности предприятий локомотивного хозяйства.

По видам работы локомотивы разделяются на грузовые, пассажирские, передаточные и вывозные, маневровые, толкачи, хозяйственные. По месту приписки и наличию локомотивный парк разделяют на инвентарный и в распоряжении депо.

Инвентарный парк - локомотивы, приписанные к данному депо, включая временно о командированные, за исключением тех локомотивов, которые временно прикомандированы из других депо. На каждый локомотив инвентарного парка составляется технический паспорт, в котором отражаются данные технического состояния локомотива, а также фиксируются производимые ранее ремонты и модернизация. Технический паспорт хранится в депо приписки и является основным документом для

учета инвентарного парка локомотивов, который ведется только в физических конструкционных единицах (в ГАЖК «Ўзбекистон темир йўллари» такой физической конструкционной единицей является секция), а мотор-вагонный подвижной состав – в секциях.

В распоряжении депо – локомотивы, фактически находящиеся в распоряжении депо, включая временно прикомандированные, исключая временно откомандированные и в аренде.

По состоянию и использованию различают эксплуатируемый и неэксплуатируемые парки локомотивов. Эксплуатируемый парк – локомотивы, находящиеся в работе, под операциями экипировки и технического обслуживания, в ожидании работы вследствие несовпадения окончаний технических операций с готовностью составов и неравномерности движения поездов.

Неэксплуатируемый парк – локомотивы, находящиеся в ремонте и в ожидании его, в техническом обслуживании ТО-3, в перемещении в ремонт и из ремонта, в процессе приемки – сдачи до и после ремонта, в оперативном резерве по неравномерности движения поездов, резерве и запаси дороги, а также в ожидании исключения из инвентаря. Простой локомотивов в резерве по неравномерности движения не должен быть менее 12ч и не более 10суток.

При постановке в запас дороги локомотивы отбираются с прокатом бандажей колесных пар не более 2 мм и пробегом после капитального КР-1, КР-2 и деповского ТР-3 ремонтов не менее 1000 км и не более 100000 км. Все они подвергаются антикоррозионной консервации.

Учет локомотивного парка депо по видам работы, состоянию и использованию производится на основании настольного журнала дежурного по депо и маршрутов машинистов.

Система показателей имеет органическую связь с ученым разделением локомотивных бригад, депо приписки локомотивов и в границах

регионального железнодорожного управления (РЖУ) дороги. Различают количественные показатели определяющие объем работы локомотивного парка в различных единицах измерения за сутки, квартал, год. К ним относятся: локомотиво–километры, локомотиво–часы, тонна–километры брутто перевозок.

Общий пробег локомотивного парка  $\Sigma NS_o$  складывается из линейного  $\Sigma NS_l$  и условного  $\Sigma NS_{yc}$ . Линейный пробег составляют пробег во главе поездов  $\Sigma NS_{\Gamma n}$  и вспомогательные пробег  $\Sigma NS_{всп}$

$$\Sigma NS_l = \Sigma NS_{\Gamma n} + \Sigma NS_{всп} \quad (2.1)$$

Вспомогательные пробег включает

$$\Sigma NS_{всп} = \Sigma NS_{дт} + \Sigma NS_m + \Sigma NS_{oc}$$

где пробеги:  $\Sigma NS_{дт}$  – в двойной тяге;  $\Sigma NS_m$  – в подталкивании;  $\Sigma NS_{oc}$  – в одиночном следовании.

Коэффициенты:  $\beta$  – вспомогательного линейного пробега;  $\beta_{дт}$  – двойной тяга и  $\beta_{oc}$  – одиночного следования:

$$\beta = \frac{\Sigma NS_{дт}}{\Sigma NS_{л}}; \quad \beta_{дт} = \frac{\Sigma NS_{дт}}{\Sigma NS_{л}}; \quad \beta_{oc} = \frac{\Sigma NS_{oc}}{\Sigma NS_{л}}$$

Тогда

$$\Sigma NS_l = (1 + \beta) \Sigma NS_{\Gamma n}$$

Условный пробег маневровых локомотивов

$$\Sigma NS_{yc} = N_{эм} v_{yc} t_{см}$$

где  $t_{см}$  – число рабочих часов в сутки одного маневрового локомотива:

$$t_{см} = 23,5 \text{ ч};$$

$N_{эм}$  – эксплуатируемый парк маневровых локомотивов;

$v_{yc}$  - условный пробег локомотива за 1 ч работы;

$v_{yc} = 5$  км/ч.

Один час простоя локомотива в рабочем состоянии приравнивается к 1 км условного пробега. Годовой пробег в хозяйственном и других видах движения определяется в процентах от пробега поездных локомотивов.

Показатель локомотиво–километры используется для расчета программы ремонта и инвентарного парка локомотивов, потребности материалов и запасных частей при ремонте; денежных затрат на ремонт, топлива, электроэнергии, смазку и оплату бригад; анализа хозяйственной деятельности подразделений. Показатель локомотиво–часы – суммарное время эксплуатируемого парка локомотивов по видам движения. Для грузового движения локомотиво–часы получают суммированием ученых элементов времени:

$$\sum NT = \sum Nt_{\partial\delta} + \sum Nt_{cm} + \sum Nt_{c\delta} + \sum Nt_o + \sum Nt_{o\delta} \quad (2.2)$$

где  $\sum Nt_{\partial\delta}$  – время движения на перегонах;

$\sum Nt_{ct}$  – время простоя на промежуточных станциях;

$\sum Nt_{c\delta}$  – время простоя на станциях смены бригад;

$\sum Nt_o, \sum Nt_{o\delta}$  – время на технологические операции и простои в

ожидании работы по станциям основного депо и

оборотных пунктов, локомотиво – ч.

Локомотиво – сутки определяют потребность локомотивного парка для обслуживания заданных размеров движения поездов:

$$N_{\text{эк}} = \frac{\sum NT}{24} \quad (2.3)$$

Показатель  $\Sigma NT$  используется также для расчета стоимости перевозок, а расчлененный по элементам – для оценки степени использования локомотивов во времени.

Показатель тонно–километры брутто  $\Sigma QL$  представляет собой объем перевозочной работы, выполняемой локомотивным парком грузового движения. Определяется он суммированием произведений веса каждого поезда на длину его следования:

$$\Sigma QL = \sum_{i=1}^i QiLi (i = 1, 2, \dots, i) \quad (2.4)$$

Показатель  $\Sigma QL$  является основным показателем объема работы локомотивного парка не только потому что он обобщающий, но и потому, что он представляет собой продукцию железных дорог.

Показатель  $\Sigma QL$  используется для определения эксплуатационных расходов и денежных расчетов РЖУ дороги с депо, расчета затрат топлива и электроэнергии, расчета потребности локомотивов при годовом планировании, анализа качественных показателей локомотивного парка. Величина  $\Sigma QL$  для депо устанавливается РЖУ дороги отдельно: по участкам обращения локомотивов, участкам работы бригад, видам тяги и видам движения.

Качественные показатели определяют степень использования локомотивного парка по различным параметрам и критериям эффективности, к которым относятся: техническая и участковая скорость движения, участковый оборот локомотивов и составляющие его элементы, коэффициент потребности локомотивов на тягу поездов, суточный бюджет времени их работы с распределением его по составляющим элементам, среднесуточный пробег, средний вес (масса) поезда, среднесуточная производительность локомотива и коэффициент производительности.

Техническая скорость  $V_T$  локомотива представляет собой среднюю скорость движения локомотивов по перегонам за суки с учетом времени на разгоны и замедления, но без учета стоянок и относится к числу основных показателей, так как его выполнение является условием движения поездов строго по расписанию, полного использования пропускной способности железных дорог, повышения степени использования мощности локомотивов.

Участковой скоростью  $V_ч$  называют среднюю скорость движения поездов между участковыми станциями с учетом стоянок на промежуточных станциях, исключая стоянки на станциях основного и оборотного депо.

Коэффициент участковой скорости – есть отношение участковой скорости движения к технической, то есть  $\beta_{yч} = V_y / V_m$ .

В эксплуатационной практики ещё принято различать ходовую и маршрутную скорости движения поездов.

Ходовой скоростью  $V_x$  называют среднюю скорость следования поезда по перегону или участку без учета времени на разгоны и замедления, которые необходимы для остановок поездов на станциях (промежуточных пунктах) и последующего их трогания с места.

Под маршрутной скоростью  $V_m$  следует понимать среднесуточную скорость следования поезда от станции его расформирования.

Участковым оборотом называю время в часах, затрачиваемое локомотивом на обслуживание пары поездов в границах участка работы локомотивных бригад. Его величина используется для расчета потребности и показателей работы локомотивного парка. Расчет участкового оборота производится по заданным нормам и соответствующей схемы езды, при этом необходимо иметь в виду, что простои на станциях относятся к тому участку, на который оправляется поезд.

Оборот локомотива  $\hat{\varepsilon} = \frac{\theta}{24}$ , выраженный в локомоиво-суках, называют коэффициентом потребности локомотивов на пару поездов, который используют для расчета потребности локомотивного парка.

Величины участкового оборота нормируются отдельно для локомотивов транзитных, сборных, вывозных, передаточных, пассажирских, хозяйственных поездов.

Бюджетом времени называют суточный фонд времени локомотива эксплуатируемого парка, расчлененный по операциям поездной работы и технического обслуживания самого локомотива.

Бюджет времени локомотива по средним элементам составляет

$$a_{cp} + t_{\text{дв}}^{cp} + t_{nc}^{cp} + c_{cp} + b_{cp} = 24 \quad (2.5)$$

где  $a_{cp}$ ,  $b_{cp}$  – простой локомотива в среднем по станциям основного депо и пунктов оборота;

$t_{\text{дв}}^{cp}$  - время чистого движения локомотива в среднем для обоих направлений участка обращения;

$t_{nc}^{cp}$ ,  $c_{cp}$  – простои локомотива на промежуточных станциях и в пунктах смены бригад.

Уравнение служит для анализа и оценки степени использования суточного фонда времени локомотивного парка.

Бюджет времени как показатель введен в связи с организацией эксплуатации локомотивов на удлинённых участках обращения, при которой затруднительно производить нормирование и оценку использования локомотивов по величине их оборотов. Объясняется это тем, что движение некоторых поездов совершается лишь на части длины участка обращения, размеры такого движения изменяются по периодам суток, возникают многовариантные обороты локомотивов при работы на разных участках,

обороты с заходом и без захода в депо, проследование локомотивов на соседние РЖУ дороги.

В таких условиях величина полного оборота локомотивов становится неопределенной, имеющей широкий диапазон изменения по отдельным локомотивам, что лишает ее оценочных и нормативных свойств.

Показатель  $t_{\partial e}$  характеризует степень занятости локомотива в движении за суки. При анализе показатель  $t_{\partial e}$  должен рассматриваться в аспекте причинно-следственных связей с другими показателями, так как положительный факт увеличения технической скорости может отрицательно повлиять на величину  $t_{\partial e}$  при неизменном простое под техническими операциями локомотивов.

Среднесуточный пробег локомотива  $S_{cp}$  представляет собой пробег одного локомотива за суки в среднем о линейного пробега эксплуатируемого парка без учета пробега толкачей:

$$S_{\bar{n}\partial} = \frac{\sum NS_{\bar{e}}}{N_{\bar{y}}} = \frac{24 \sum NS_{\bar{e}}}{\sum NT} \quad (2.6)$$

где  $\sum NS_{\bar{e}}$  – локомотиво – километры линейного пробега во главе поездов в двойной тяге, при одиночном следовании, без учета пробега толкачей;

$\sum NT$  – локомотиво- часы за сутки локомотивов эксплуатируемого парка грузового движения, исключая толкачи.

Среднесуточный пробег локомотива на участке работы бригад

$$(S_{\bar{n}\partial})_i = \frac{24li \sum N_i}{\sum (NT)_i} = \frac{li \sum N_i}{N_{\bar{y}i}}, \quad (2.7)$$

где  $li$  – длина участка работы локомотивных бригад;

$\Sigma Ni$  – число локомотивов проследовавших за суки по участку в обоих направлениях, исключая толкачи;

$\Sigma(NT)i$  – локомтоиво-часы, затраченные на обслуживание поездов за сутки на участке  $li$ , включая простои локомотивов в пунктах оборота бригад, замыкающих участок  $li$ , и на промежуточных участковых станциях.

Суточный пробег отдельно взятого локомотива обслуживающего поезда в пределах участка работы бригад

$$S_o = \frac{24}{\theta_o} 2l_i$$

где  $\theta_o$  – оборот локомотива на участке  $li$ .

Показатель  $S_{cp}$  характеризует степень использования локомотивов по пробегу и времени, так как представляет собой суточную скорость движения каждого локомотива в среднем. Он используется для расчета потребности локомотивного парка, при перспективном и годовом планировании, а также для нормирования, учета, анализа и оценки степени использования локомотивного парка депо, на участках работы бригад, по отделениям дорог и по дорогам. Величину  $S_{cp}$  рассчитывают отдельно по видам тяги, категориям грузовых поездов (транзитные и сборные, вывозные и передаточные), суммарно для всех грузовых поездов.

Средним весом поезда  $Q_{cp}$  называют вес условного состава в тоннах брутто, отнесенный в среднем к одному поезду, проведенному по участку:

$$Q_{cp} = \Sigma QL / \Sigma nL \quad (2.8)$$

где  $\Sigma QL$  – тонно–километры брутто перевозочной работы на заданном участке за сутки:

$\Sigma nL$  – поездо–километры или локомотиво–километры во главе поездов.

Показатель  $Q_{cp}$  не учитывает участия локомотивного парка, занятого в толкании, двойной тяге и одиночном следовании, так как перевозочная работа отнесена только к локомотивам во главе поездов. Соотношение выполненного  $Q_{cp}^{\phi}$  и нормируемого  $Q_n$  в определенной мере характеризует степень использования расчетной силы тяги локомотива.

Величина  $Q_{cp}$  влияет на провозную способность железных дорог, потребность в локомотивном парке, расход энергоресурсов на тягу поездов, на приведенные затраты по перевозкам. Показатель  $Q_{cp}$  включается в план эксплуатации железных дорог.

Среднесуточная производительность локомотива—число тонно—километров брутто перевозочной работы, выполняемой в среднем одним локомотивом эксплуатируемого парка грузового движения, включая толкачи:

$$\dot{i} = \frac{24 \sum (QL)_{\text{б}}}{\sum (NT)_{\text{б}}} = \frac{\sum (QL)_{\text{б}}}{N_{ye} + N_T} = \frac{\sum (QL)_{\text{б}}}{N_y(1 + \varphi_T)} \quad (2.9)$$

где  $\sum (NT)_{\text{б}}$  — локомотиво—часы общие, включая локомотивы—толкачи в двойной тяге и одиночного следования;

$\sum (QL)_{\text{б}}$  — общие тонно—километры брутто;

$\varphi_m$  — отношение числа толкачей к эксплуатируемому парку локомотивов грузового движения,  $\varphi_m = N_m / N_{\text{эк}}$ .

Для определения величины  $\Pi$  через  $Q_{cp}$  и  $S_{cp}$  необходимо учесть различие их структур:  $\Pi$  — отнесена ко всему эксплуатируемому парку грузовых локомотивов;  $Q_{cp}$  — не учитывает работы локомотивов в двойной тяге, в толкании и одиночном следовании;  $S_{cp}$  — не включает пробег толкачей. Коэффициентом производительности называют величину  $\Psi = \frac{(1 - \varphi_T)}{1 + \beta_{\Delta T} + \beta_{IN}}$ ,

которая позволяет учесть различие структур показателей. Тогда

$$\Pi = \Psi Q_{cp} S_{cp}. \quad (2.10)$$

Показатель определяют только для грузового движения по видам тяги и по участкам работы локомотивных бригад. Его величина характеризует производительность локомотива только в определенных эксплуатационных условиях. Показатель является обобщающим, так как поставлен в зависимость от веса и скорости движения поездов, степени использования бюджет времени локомотивов.

Величина  $\Pi$  не может характеризовать сравнительную степень использования мощности локомотивов в различных эксплуатации, так как относится к локомотиву любой серии без учета мощности, к поездам различных категорий и весовых норм, не учитывает структуру грузопотоков по направлениями и использования грузоподъемной силы вагонов, существенно зависит от удельного веса порожняковых вагонопотоков, профиля пути и других особенностей эксплуатационных условий дорог.

Однако в конкретных условиях эксплуатации величина  $\Pi$ , будучи обобщающим показателем, непосредственно отражает долю участия локомотива в выработке транспортной продукции и поэтому принята основным измерителем для оценки степени использования локомотивного парка депо в перевозочной работе отделения дороги. Величина показателя  $\Pi$  устанавливается в планах по эксплуатации отделений дорог и по дорогам в целом, используется для определения потребности локомотивного парка при годовом и перспективном планировании.

При повышении производительности локомотивов сокращается локомотивный парк или возрастает объем перевозок, уменьшаются затраты энергоресурсов на тягу поездов, расходы на содержание штата работников депо, на ремонт и амортизацию локомотивов. Наибольшего повышения производительности локомотива обычно достигают за счет увеличения веса поездов и сокращения пробега локомотивов в одиночном следовании.

