

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

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

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

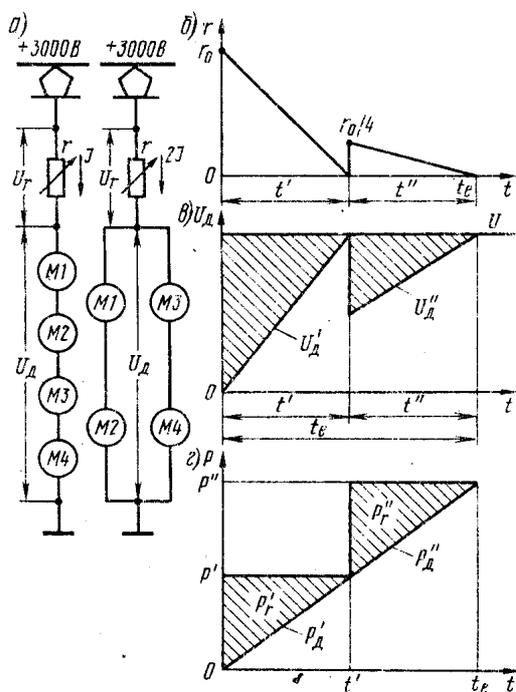


Рис. 2.9. Реостатный пуск при двух группировках тяговых двигателей: а – принципиальные схемы последовательного и параллельного соединения; б – диаграмма изменения сопротивления пускового резистора; в – кривая распределения напряжения в силовой цепи; г – диаграмма распределения мощностей

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

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

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

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

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

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

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

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

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

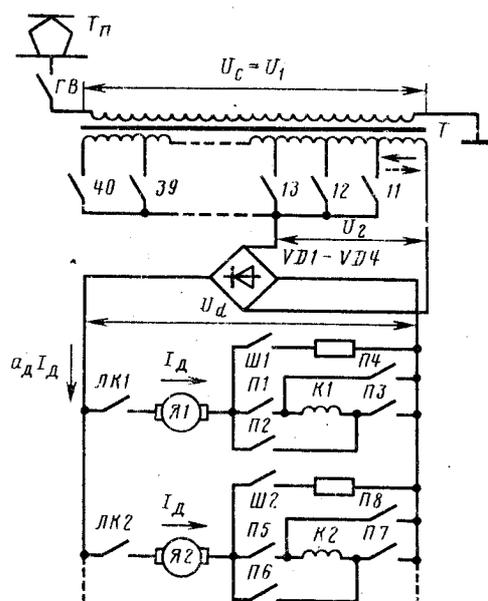


Рис. 2.10. Упрощенная схема силовой цепи э.п.с. переменного тока с выпрямителем

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

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

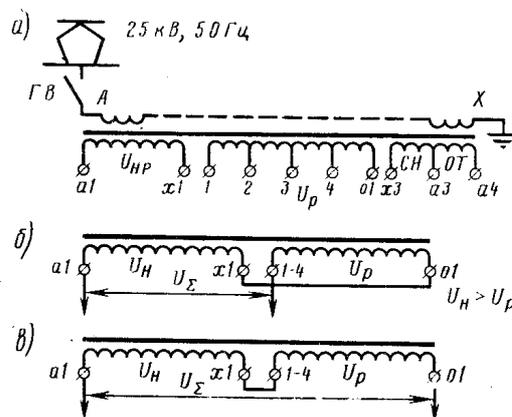


Рис. 2.11. Схемы обмоток трансформатора (а), их встречного (б) и согласного (в) включения

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

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

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

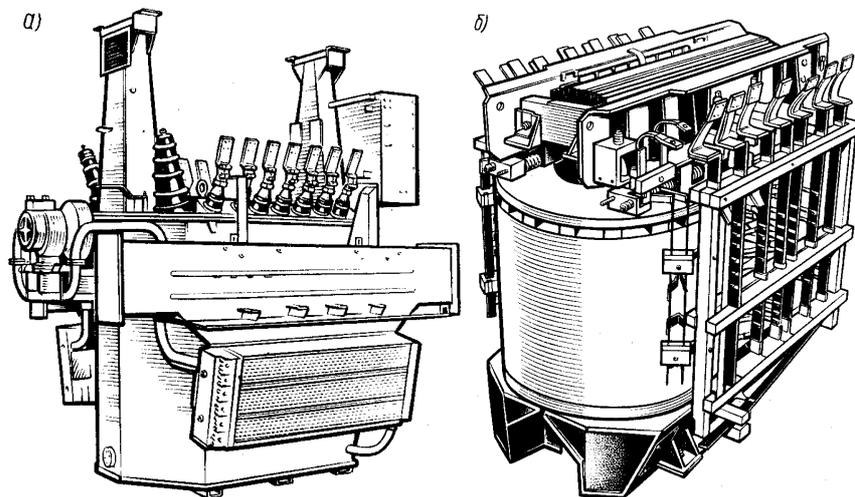


Рис. 2.12. Трансформатор в собранном виде (а) и его сердечник с обмотками и выводами (б)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

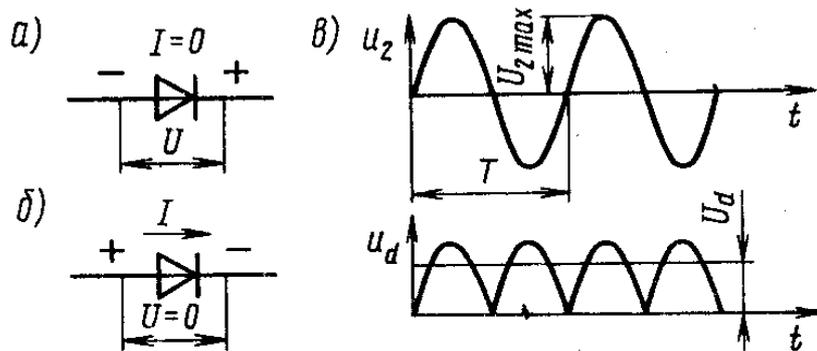


Рис. 2.13. Схемы, поясняющие принцип работы полупроводникового диода (а, б) и диаграмма питающего и выпрямленного напряжения (в)

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

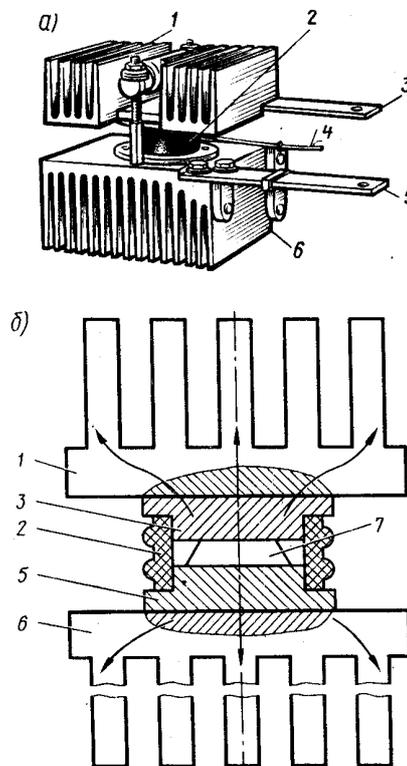


Рис. 2.14. Конструкция силового полупроводникового прибора (а) и его продольно-осевой разрез (б)

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

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

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

Среднее значение выпрямленного напряжения

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

что с учетом выражения (2.3) позволяет записать:

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

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

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

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

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

$$I_d = a_d I_{дн},$$

где a_d – число ветвей параллельно включенных тяговых электродвигателей.

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

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

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

где r – эквивалентное сопротивление выпрямителя.

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

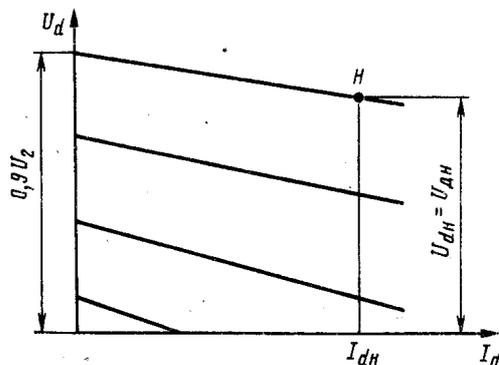


Рис. 2.15. Внешняя характеристика выпрямителя

Скорость движения электровоза переменного тока можно выразить как

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

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

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

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

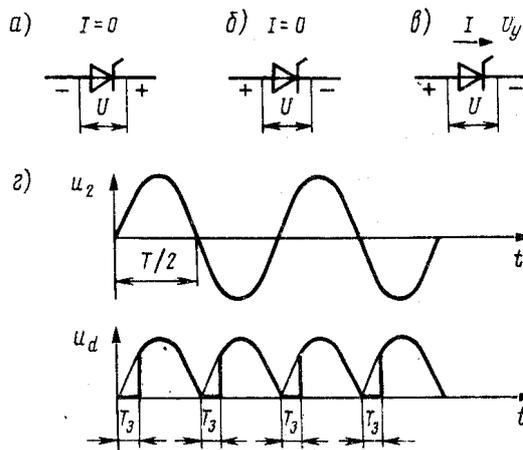


Рис. 2.16. Схемы, поясняющие принцип работы тиристора (а, б, в), и диаграмма питающего выпрямленного напряжения (г)

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

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

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

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

2.3 Электрическое оборудование цепей управления э.п.с.

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

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

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

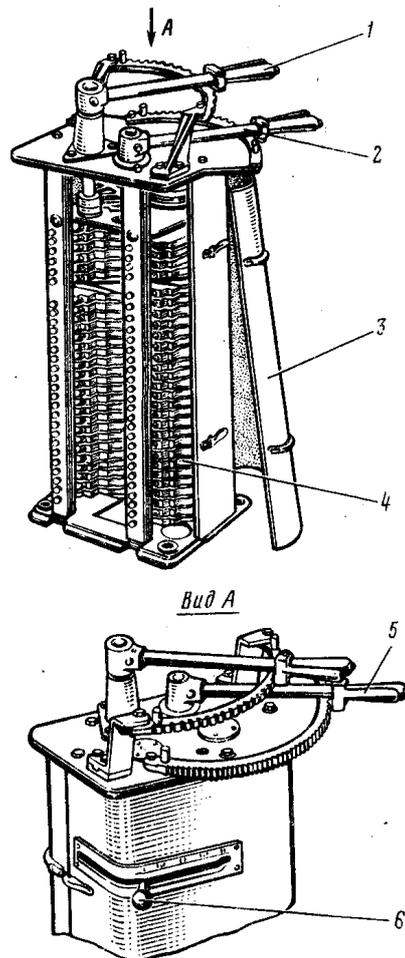


Рис. 2.17. Контроллер машиниста электровоза с индивидуальными контакторами: 1 – тормозная рукоятка; 2 – главная рукоятка; 3 – кожух; 4 – главный вал с контактами; 5 – фиксатор; 6 – реверсивно-селективная рукоятка

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

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

0 – «нулевое» (все цепи обесточены);

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

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

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

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

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

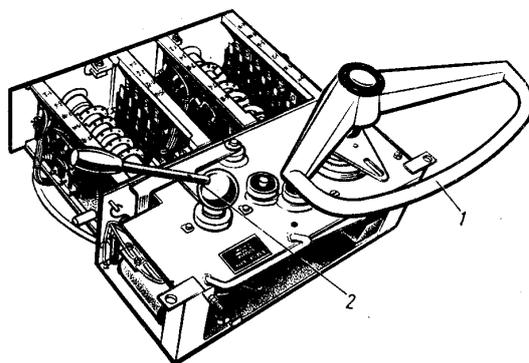


Рис. 2.18. Контроллер машиниста электровоза с групповым переключателем: 1 – главная рукоятка; 2 – реверсивная рукоятка

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

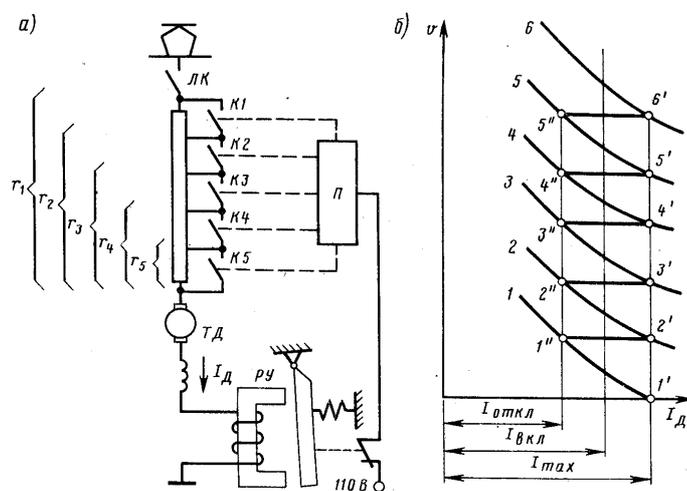


Рис. 2.19. Автоматический пуск моторного вагона: а – упрощенная схема силовой цепи; б – пусковая диаграмма

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

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

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

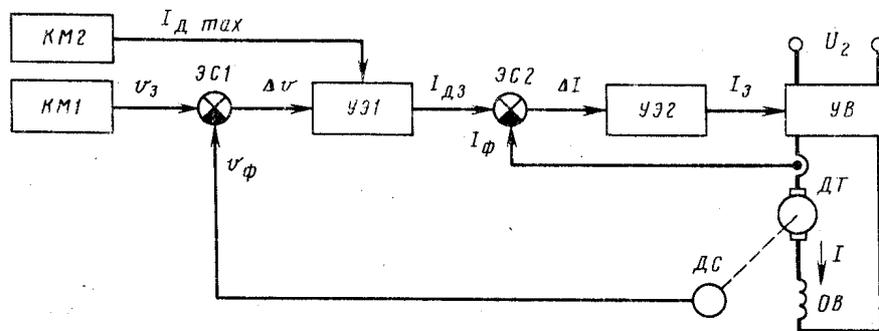


Рис. 2.20. Функциональная схема автоматического регулирования скорости и силы тяги э.п.с.

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

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

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

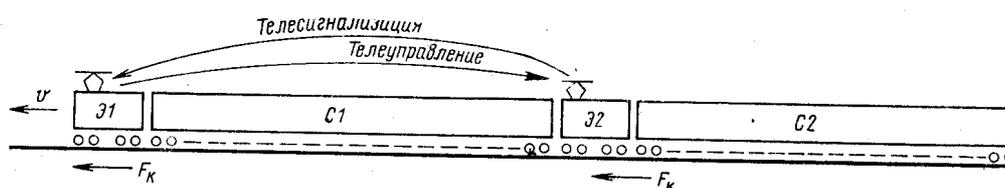


Рис. 2.21. Телеуправление электровозами в соединенном поезде

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

2.4. Защита электрического оборудования э.п.с.

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

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

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

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

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

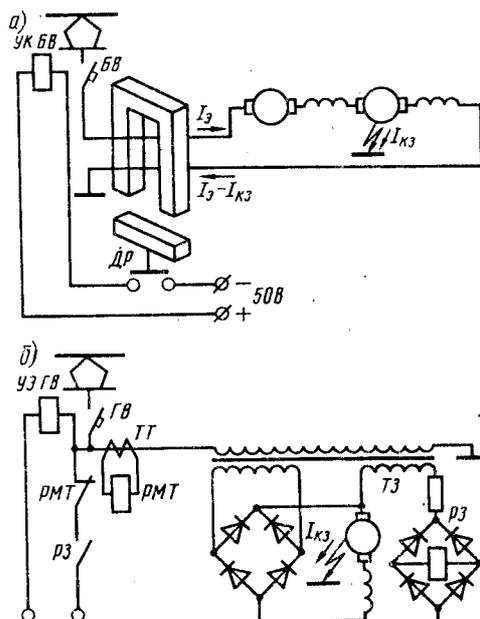


Рис. 2.22. Принципиальные схемы защиты от замыкания на землю э.п.с. постоянного (а) и переменного (б) тока

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

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

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

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

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

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

2.5 Вспомогательное электрооборудование э.п.с.

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

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

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

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

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

Принцип действия трехфазного асинхронного электродвигателя.

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

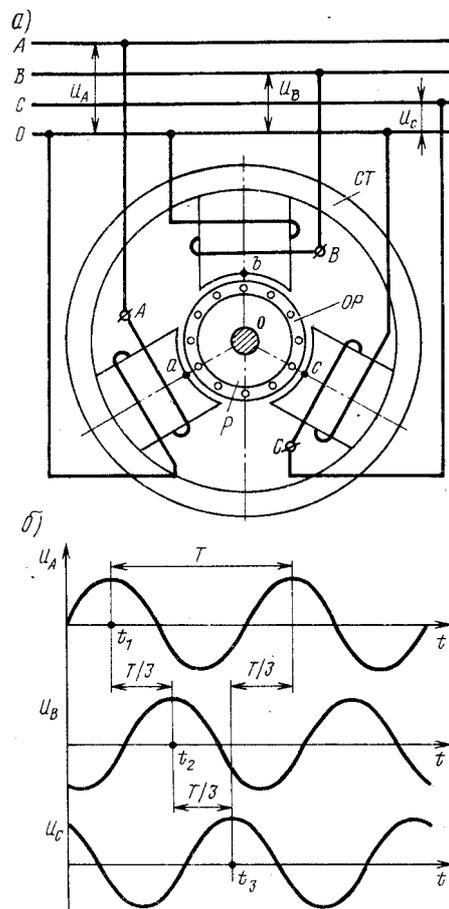


Рис. 2.23. Схема, поясняющая принцип действия асинхронного электродвигателя переменного тока (а) и диаграмма трехфазного напряжения (б)

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

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

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

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

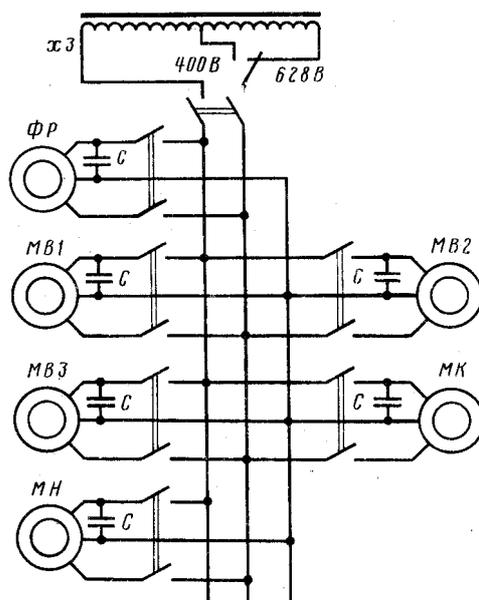


Рис. 2.24. Электрическая схема вспомогательных машин э.п.с. переменного тока

2.6 Расположение электрооборудования на э.п.с.

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

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

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

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

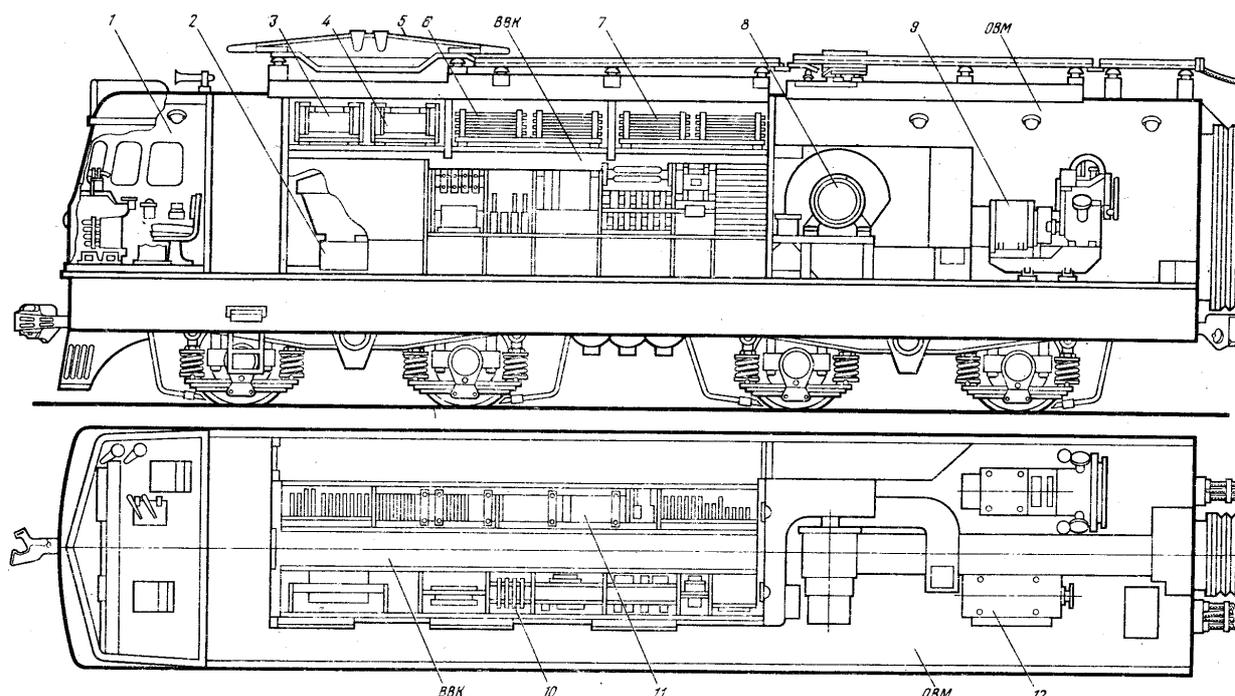


Рис. 2.25. Схема расположения электрооборудования на электровозе постоянного тока ВЛ10

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

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

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

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

3. МЕХАНИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ ЭЛЕКТРОВЗОВ И ЭЛЕКТРОПОЕЗДОВ ПОСТОЯННОГО И ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

3.1. Общие сведения

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

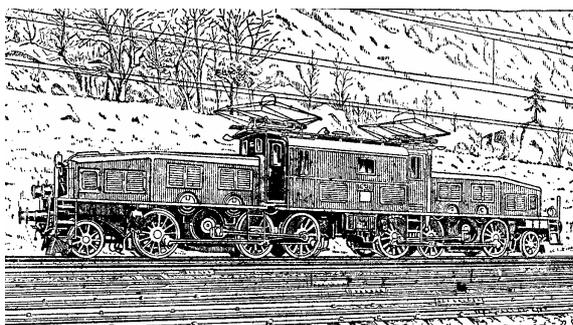


Рис. 3.1 Рамный электровоз



Рис. 3.2 Электровоз с тележками

3.2 Назначение основных узлов и классификация механической части

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

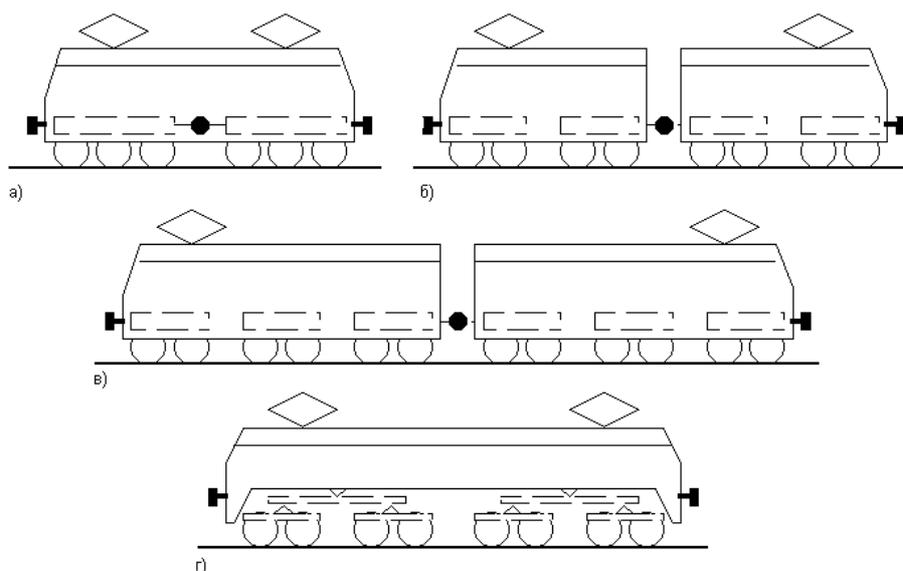


Рис. 3.3 Схемы экипажных частей электровозов

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

3.3 Устройство тележек электроподвижного состава

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

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

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

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

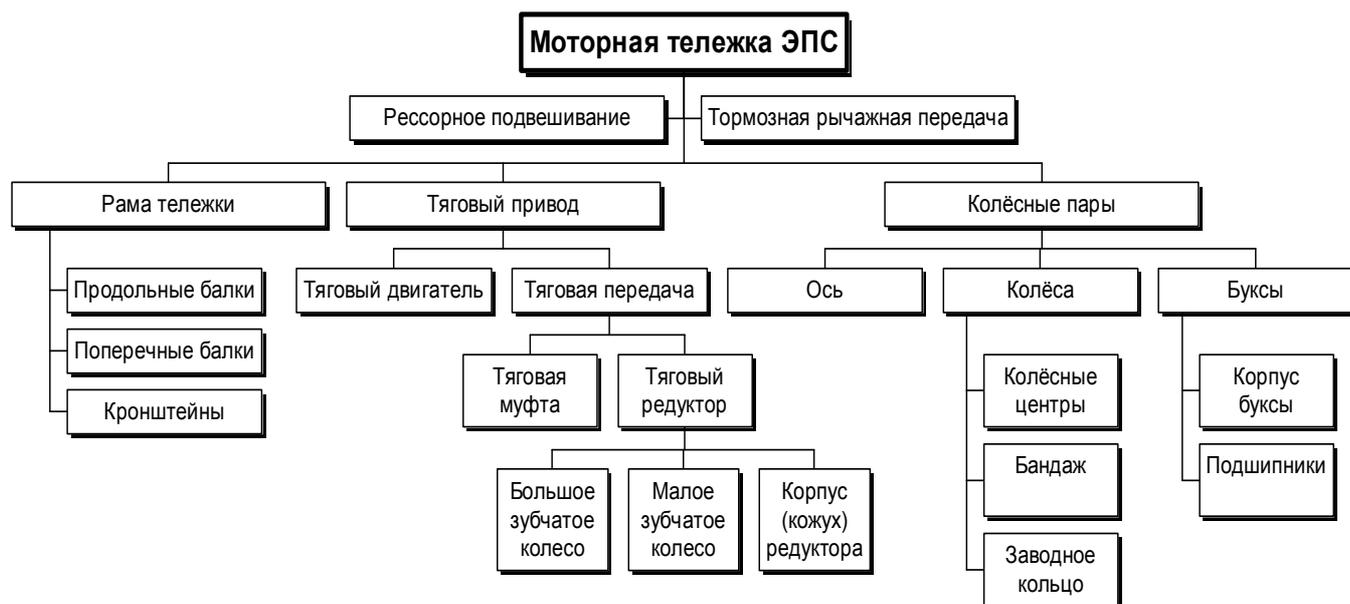


Рис. 3.4 Структурная схема моторной тележки э.п.с. и её основных узлов

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

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

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

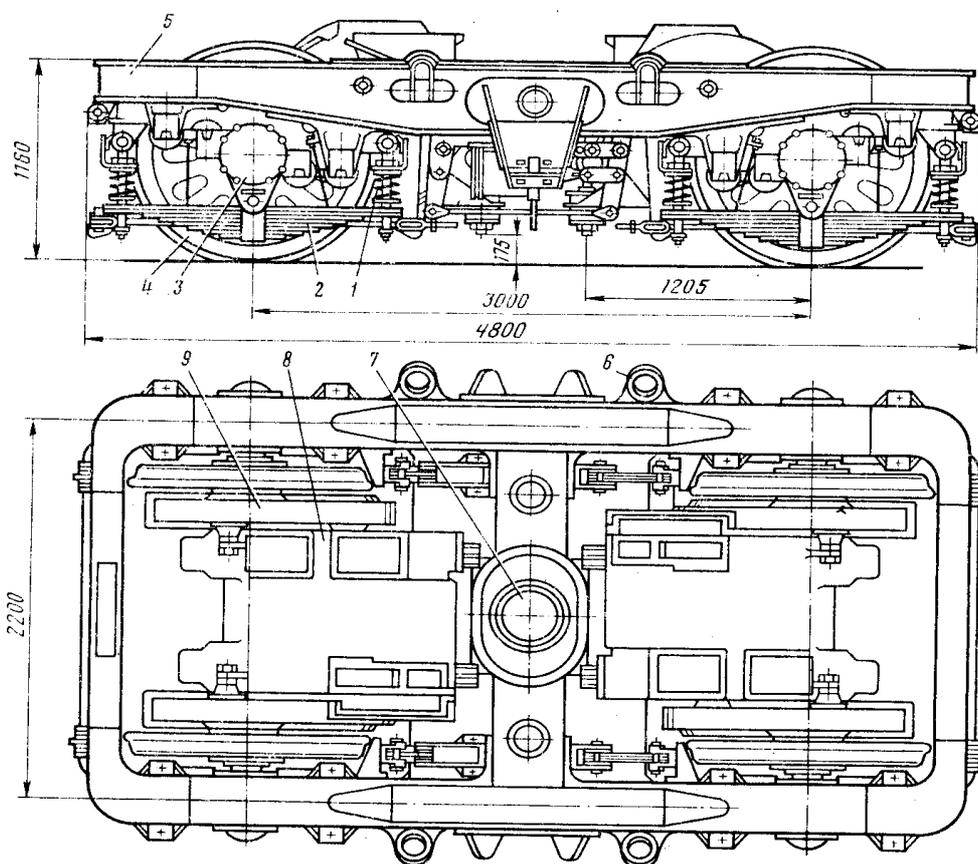


Рис. 3.5. Тележка электровоза ВЛ10

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

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

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

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

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

Передаточное отношение зубчатой передачи

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

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

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

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

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

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

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

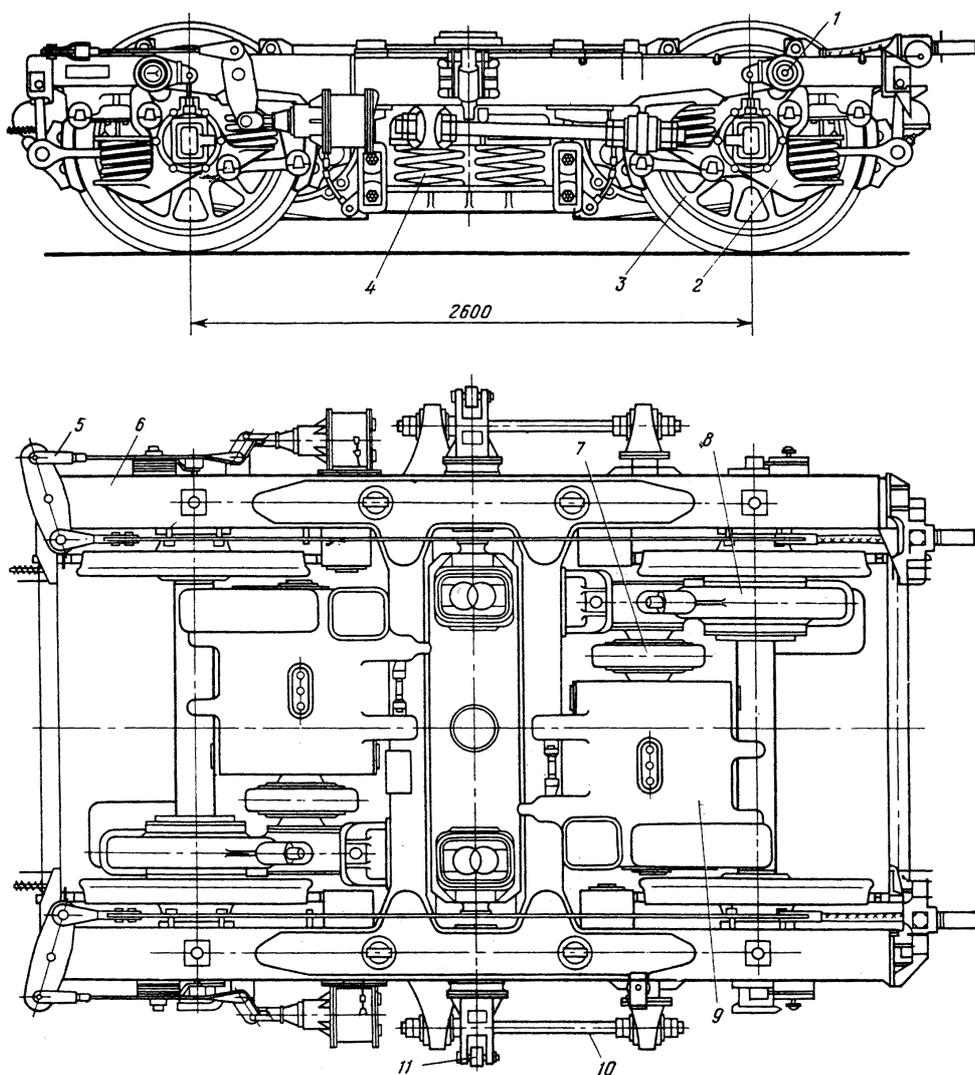


Рис. 3.6. Тележка электропоезда ЭР2Р

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

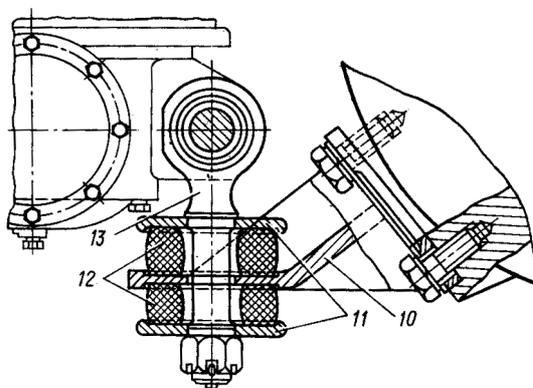


Рис. 3.7. Конструкция опорно-осевого подвешивания тяговых двигателей через резиновые шайбы

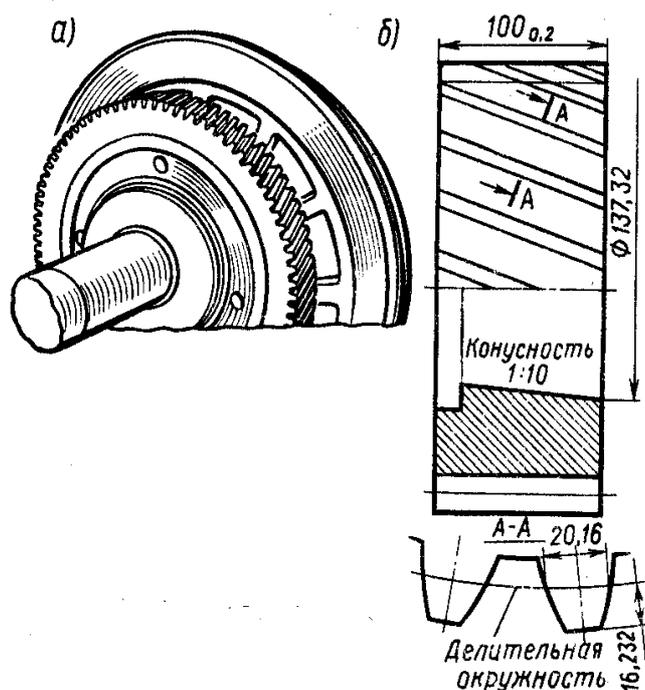


Рис. 3.8. Зубчатое колесо (а) и шестерня (б) косозубой передачи

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

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

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

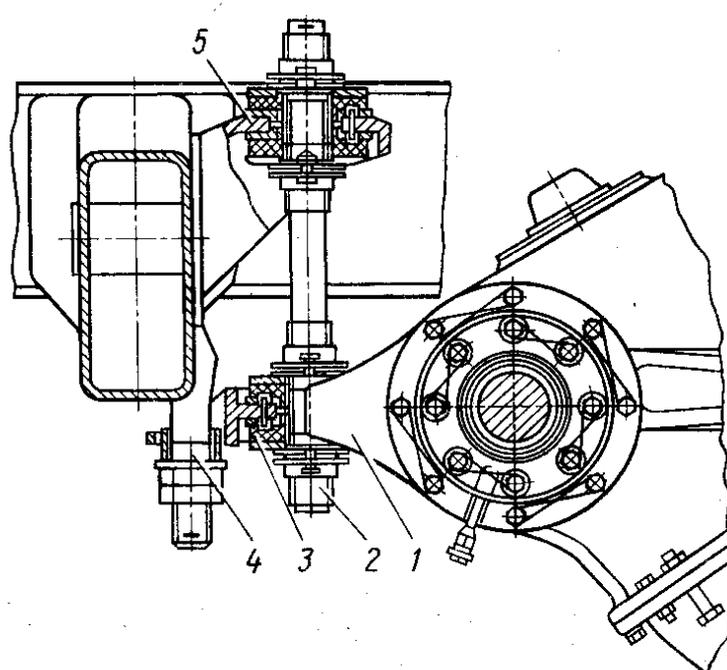


Рис. 3.9. Конструкция повестки редуктора электропоездов серии ЭР

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

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

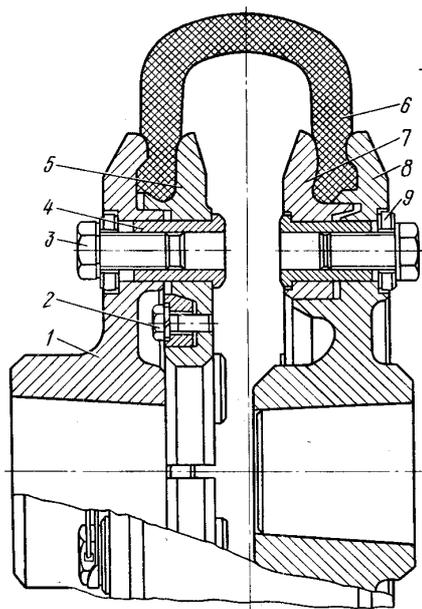


Рис. 3.10. Резинокордная муфта тягового привода электропоезда ЭР

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

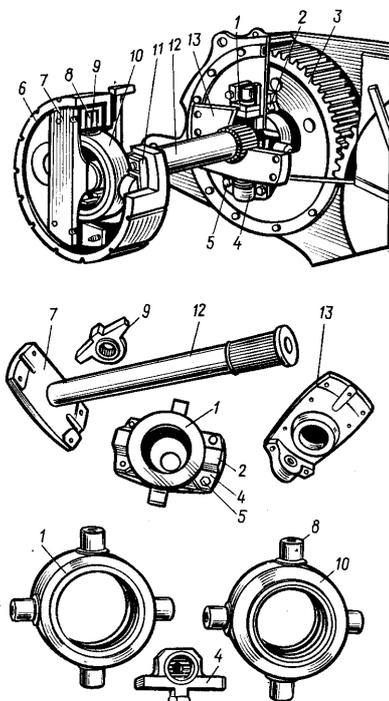


Рис. 3.11. Конструкция тяговой передачи электровозов ЧС2

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

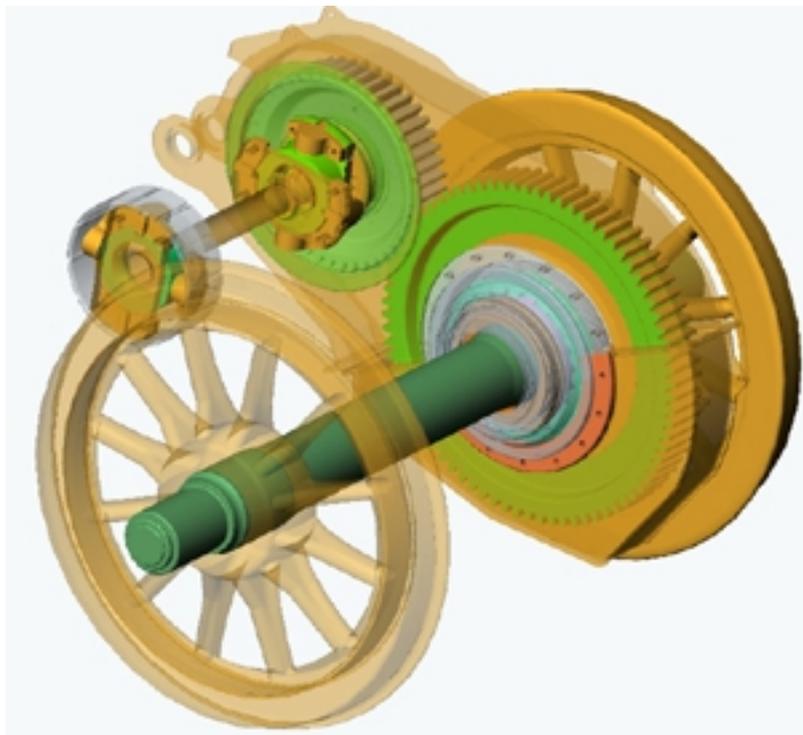


Рис. 3.12. Компоновка тяговой передачи электровозов ЧС2

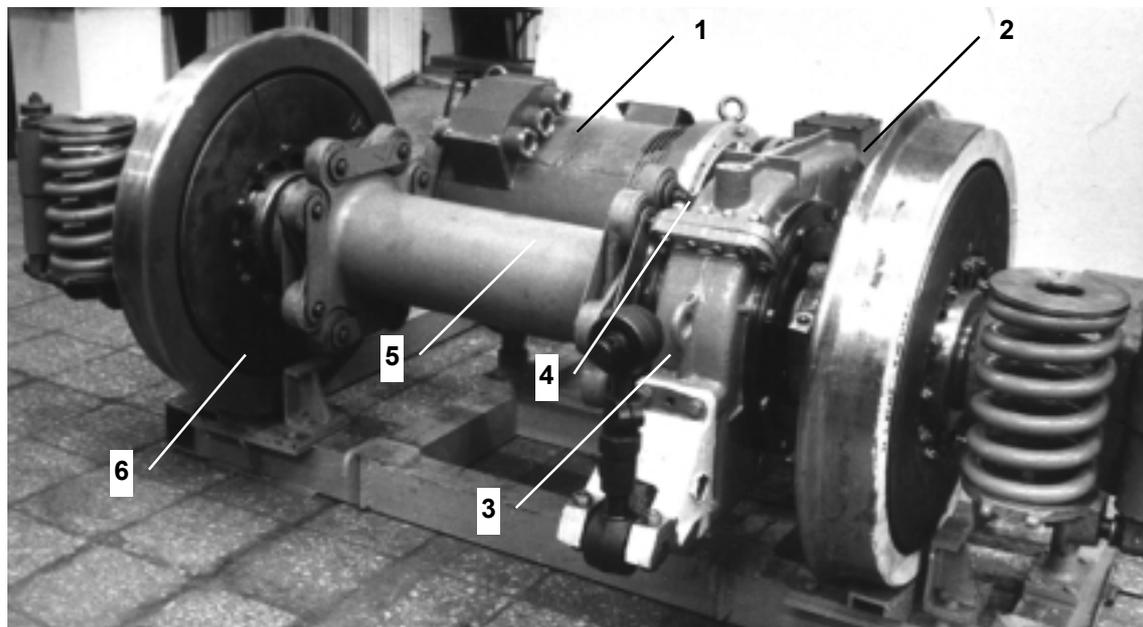
В сериях электровозов ЧС7 и ЧС8 этот барабан исключён и подобное перемещение осуществляется за счёт осевых зазоров в подшипниках вала малого зубчатого колеса и в опорных подшипниках корпуса редуктора. Однако практика показывает, что такое упрощение конструкции ведёт к тому, что очень часто происходит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

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

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

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

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



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

3.4 Устройство колёсных пар, букс и рам тележек

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

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

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

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

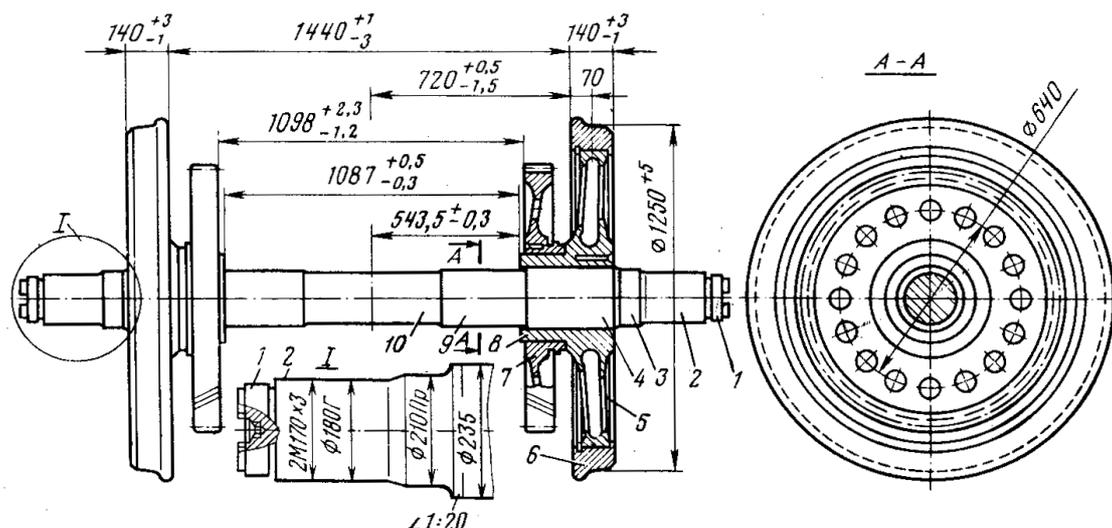


Рис. 3.14. Колёсная пара электровозов ВЛ10 и ВЛ11:

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

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

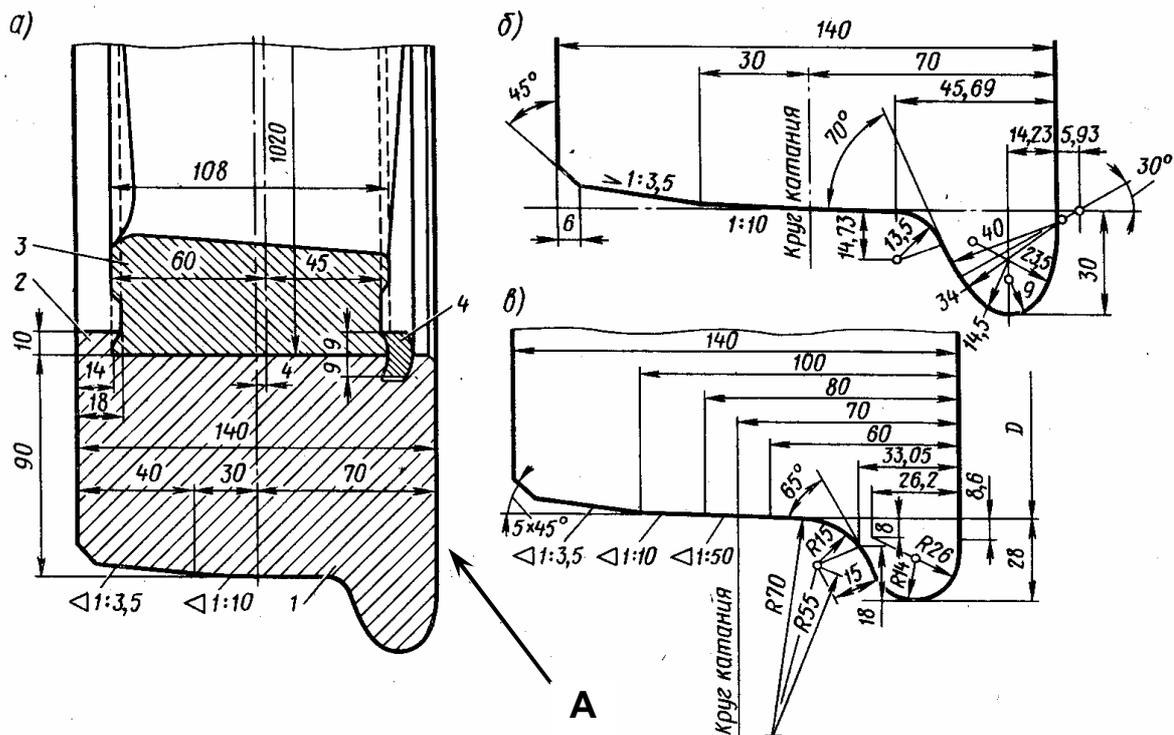


Рис. 3.15. Бандаж колёс электровоза

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

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

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

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

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

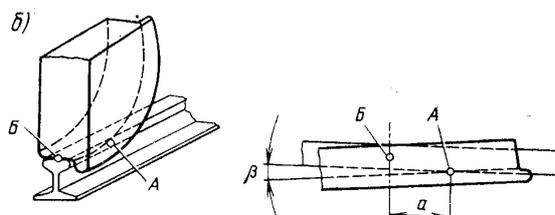


Рис. 3.16. Схема двухточечного контакта колеса с рельсом

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

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

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

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

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

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

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

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

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

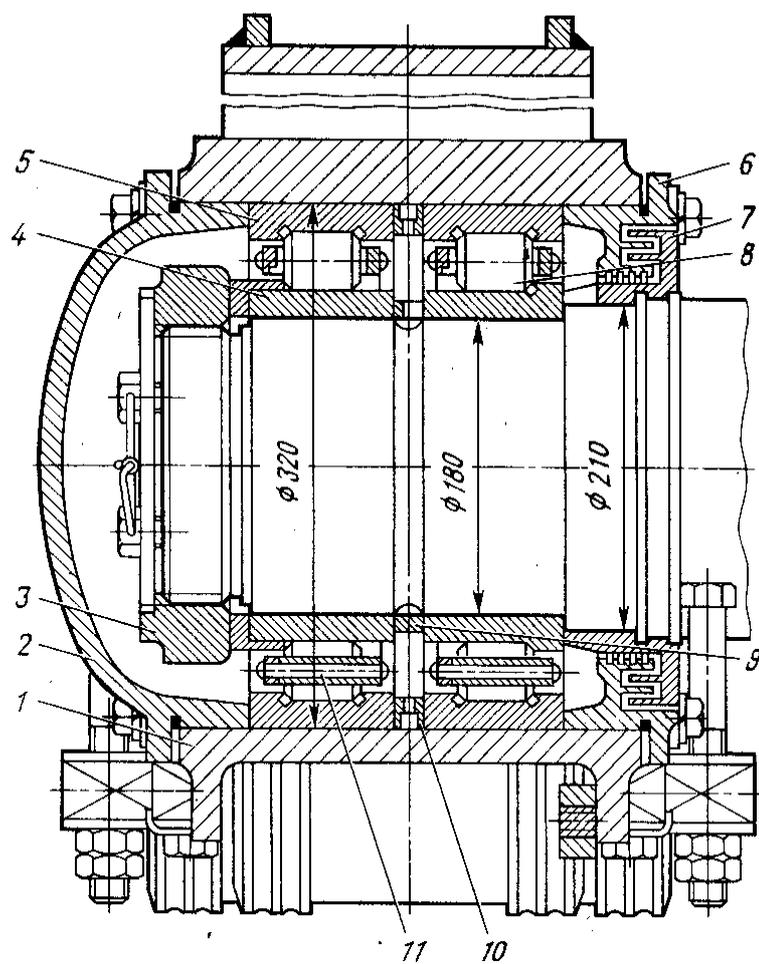


Рис. 3.17. Букса электровозов ВЛ10, ВЛ11 и ВЛ80

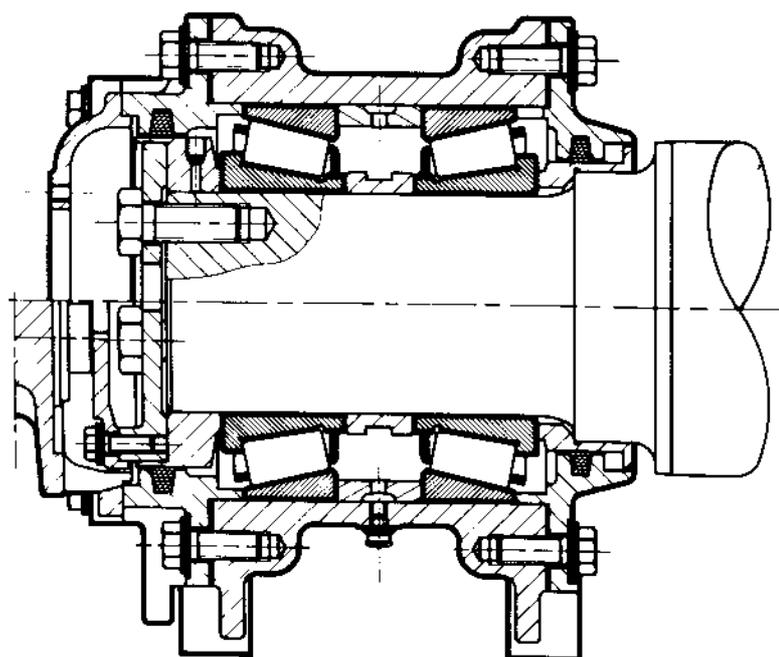


Рис. 3.18. Букса с коническими подшипниками

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

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

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

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

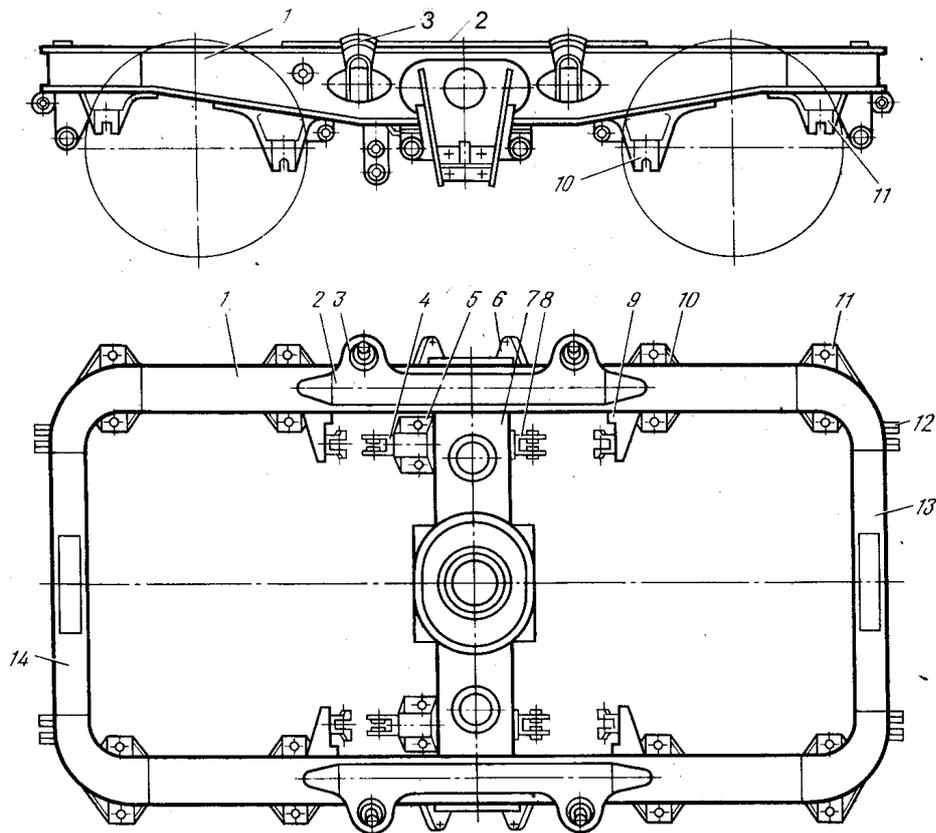


Рис. 3.19. Рама тележки электровозов ВЛ10, ВЛ11 и ВЛ80

3.5. Кузова электровозов и электропоездов

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

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

Кузова вагонов электропоездов имеют кабины управления только на головных вагонах.

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

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

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

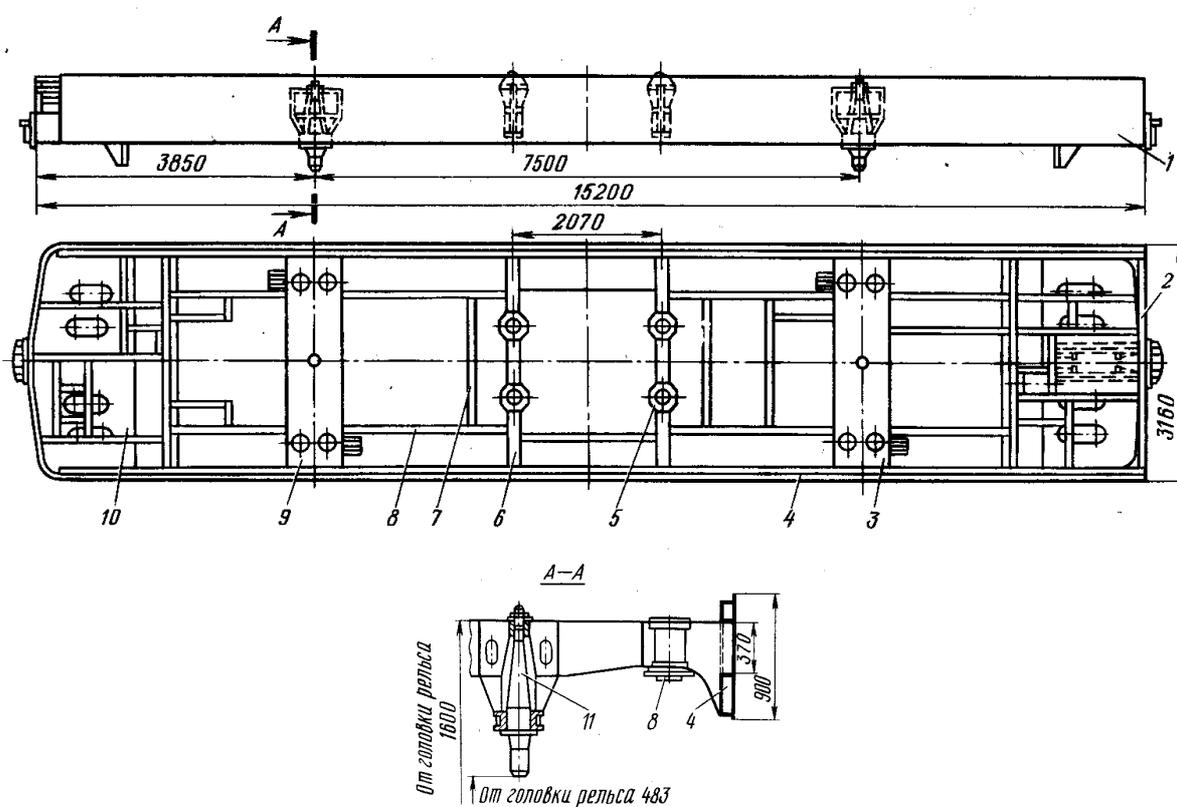


Рис. 3.20. Рамы кузовов электровозов ВЛ10 и ВЛ80

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

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

3.6. Взаимодействие колёсных пар и рельсового пути

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

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

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

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

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

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

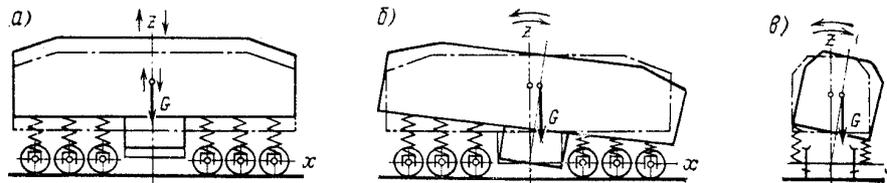


Рис. 3.21. Основные виды колебаний электровоза:
а – подпрыгивание; б – галопирование; в – боковая качка

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

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

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

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

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

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

i – конусность бандажа;

v – скорость движения экипажа;

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

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

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

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

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

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

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

3.7. Рессорное подвешивание, его характеристика

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

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

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

где c – коэффициент жёсткости упругого элемента;

M – масса, опирающаяся на упругий элемент.

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

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

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

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

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

Запишем формулу первого закона Ньютона для массы всего электровоза как

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

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

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

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

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

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

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

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

$$F = k\eta,$$

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

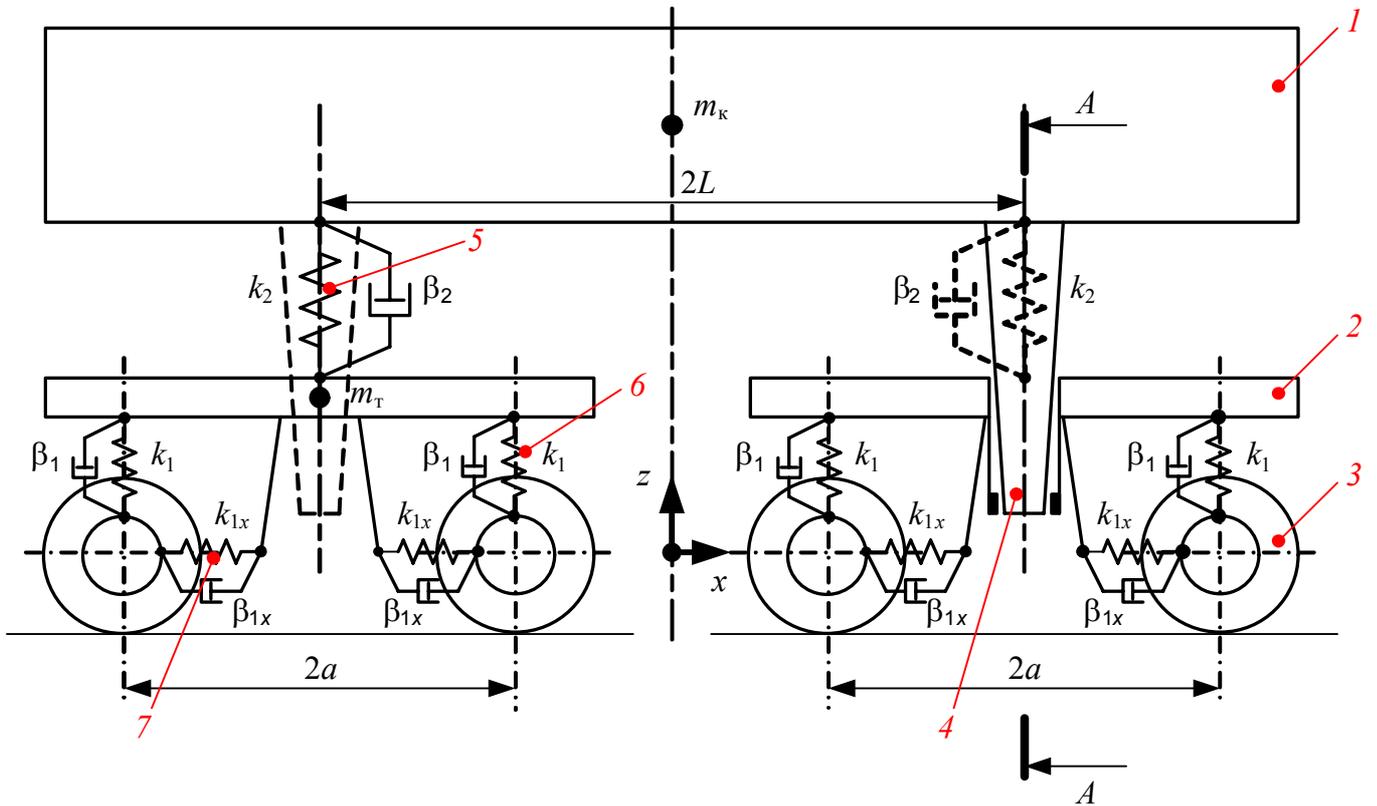
η – деформация рессорного подвешивания.

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

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

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

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



Сечение А-А

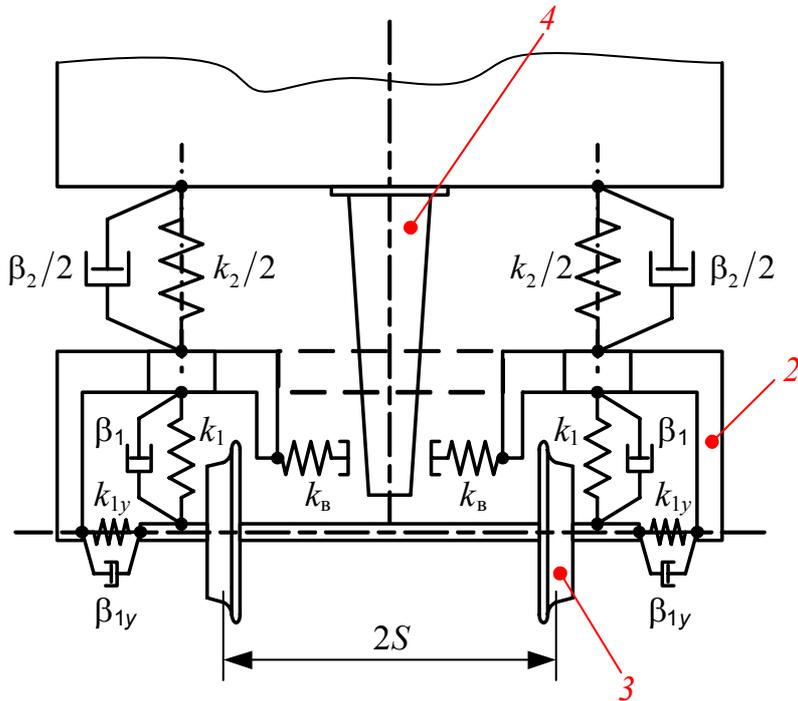


Рис. 3.22. Схема рессорного подвешивания экипажа $2\sigma-2\sigma$
 1 – кузов экипажа; 2 – подрессоренная часть тележки; 3 – колёсная пара (неподресоренная часть); 4 – шкворень кузова; 5 – вторичное рессорное подвешивание; 6 – первичное рессорное подвешивание; 7 – продольная связь колёсной пары с рамой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

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

Геометрические параметры:

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

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

Упругие и диссипативные связи:

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

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

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

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

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

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

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

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

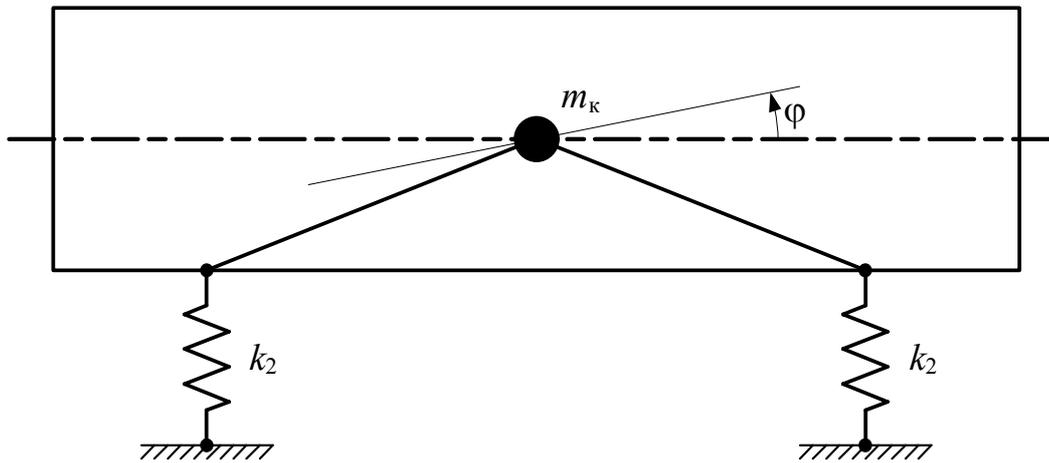


Рис. 3.23. Схема для расчета парциальной частоты вертикальных колебаний кузова

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

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

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

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

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

определяющей частоту маятника с длиной подвески l .

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

Рассмотрим несколько типовых конструкций рессорного подвешивания современных экипажей.

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

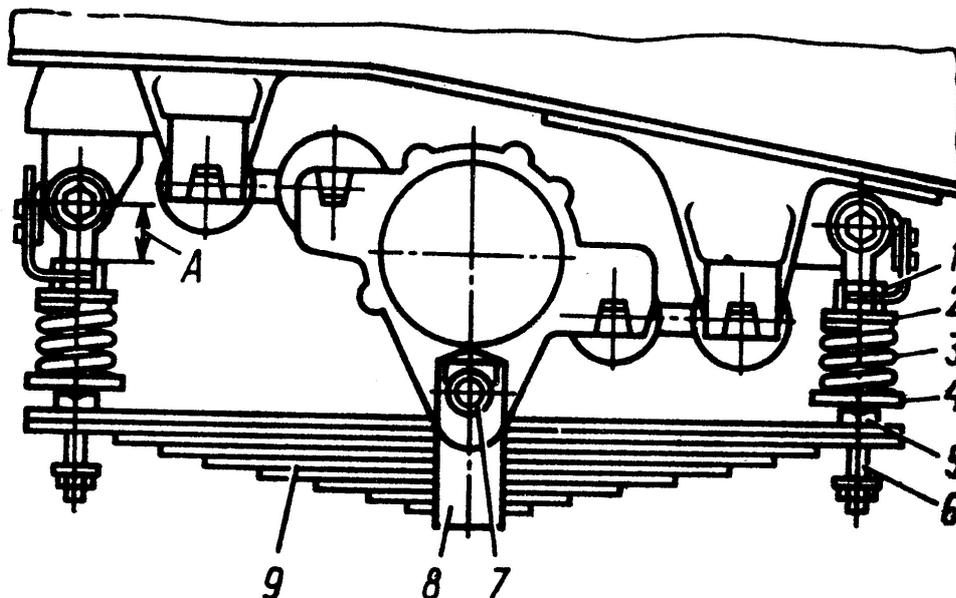


Рис. 3.24. Буксовая ступень рессорного подвешивания

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

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

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

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

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

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



Рис. 3.25. Механическая часть электровоза ЭП10

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

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

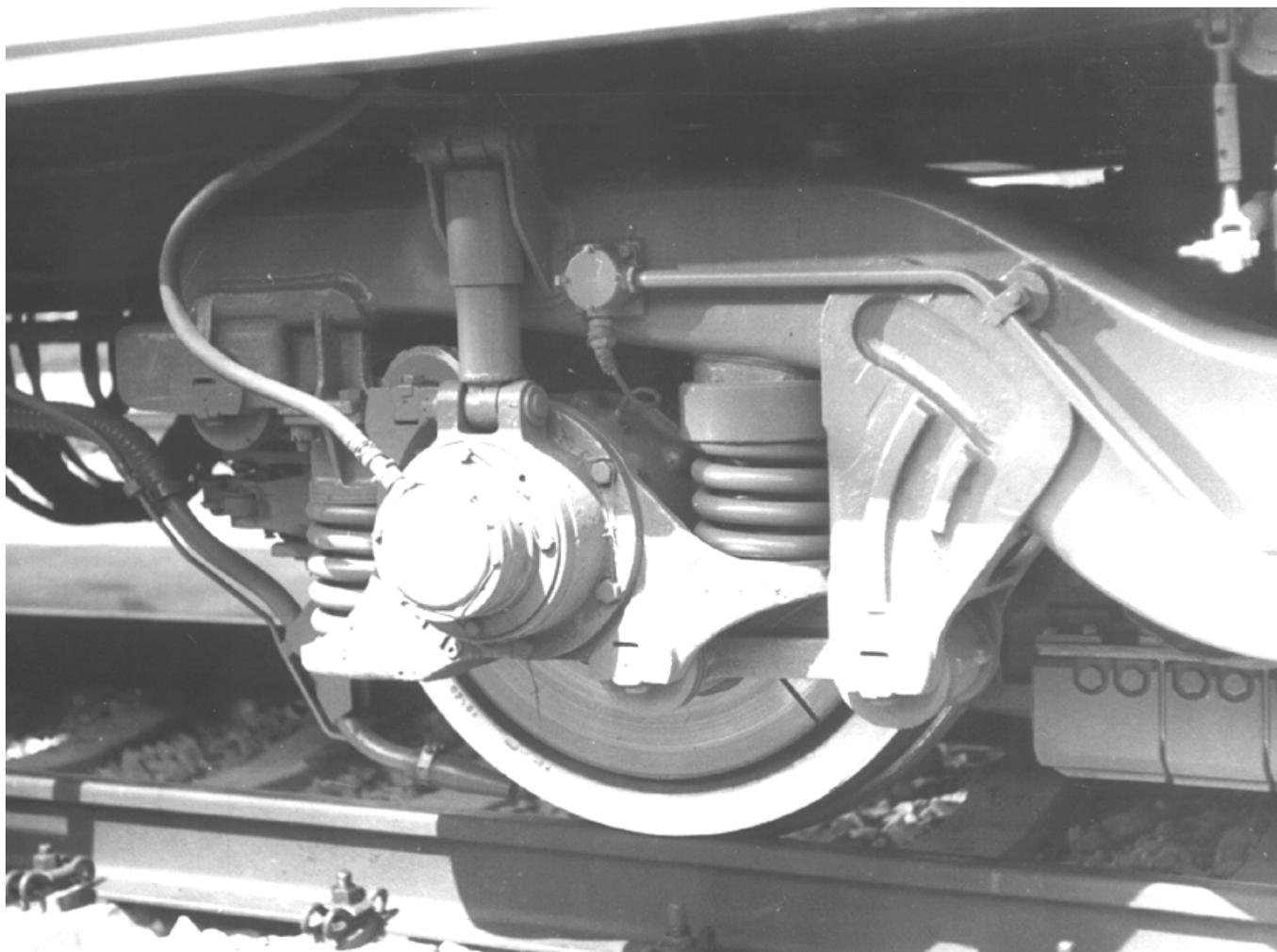


Рис. 3.26. Буксовое рессорное подвешивание электропоезда ЭР200

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

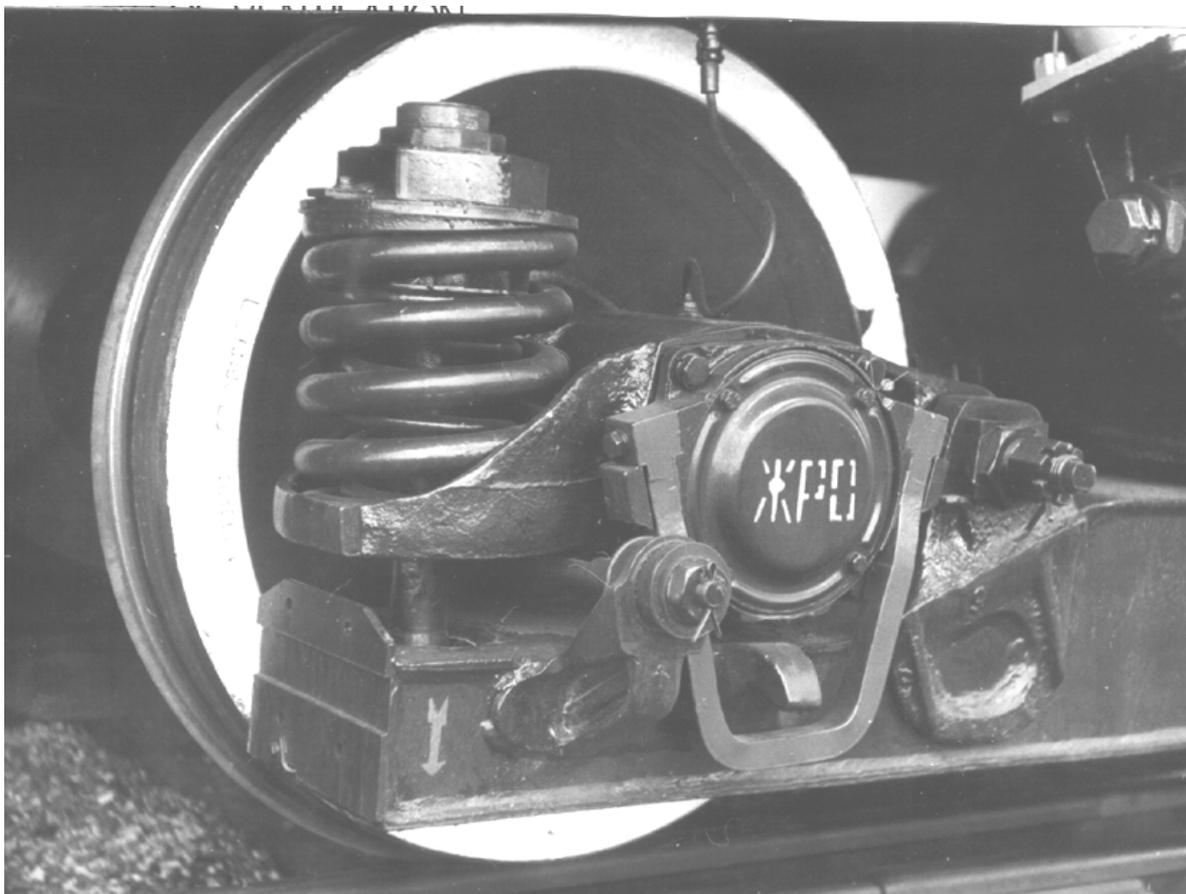


Рис. 3.27. Буксовое подвешивание тележки дизельпоезда ДР и автомотрисы АР

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

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

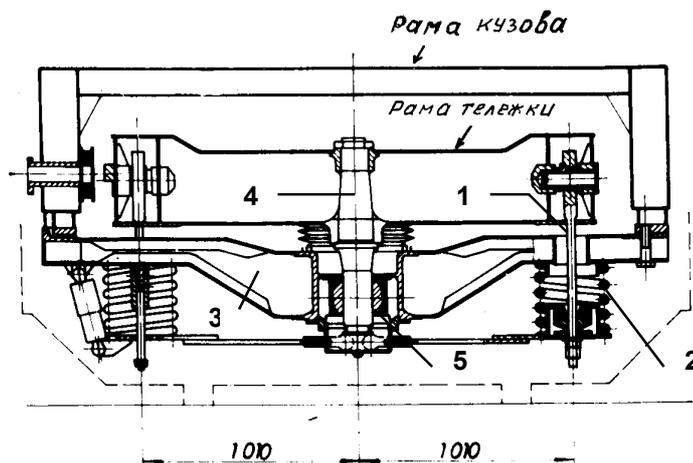


Рис. 3.28. Люлечное устройство электровозов ЧС7, ЧС8

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

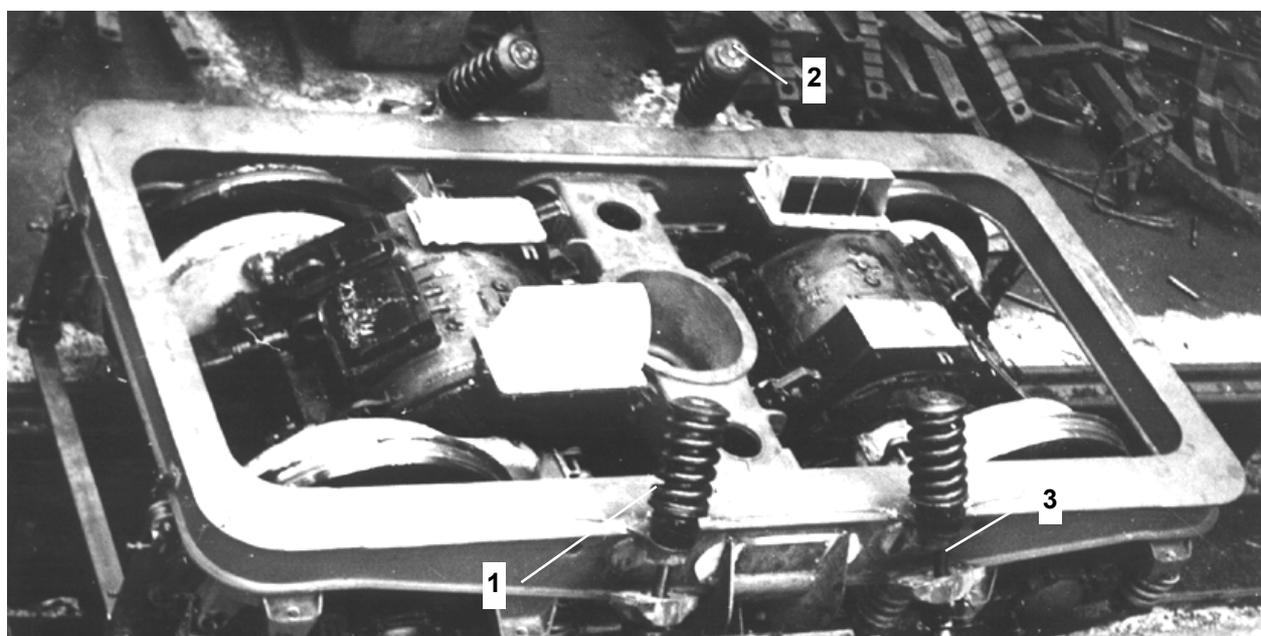


Рис. 3.29. Люлечное устройство тележки электровозов ВЛ10, ВЛ11 и ВЛ80

На рис. 3.30 подробно показано устройство одной люлечной подвески.

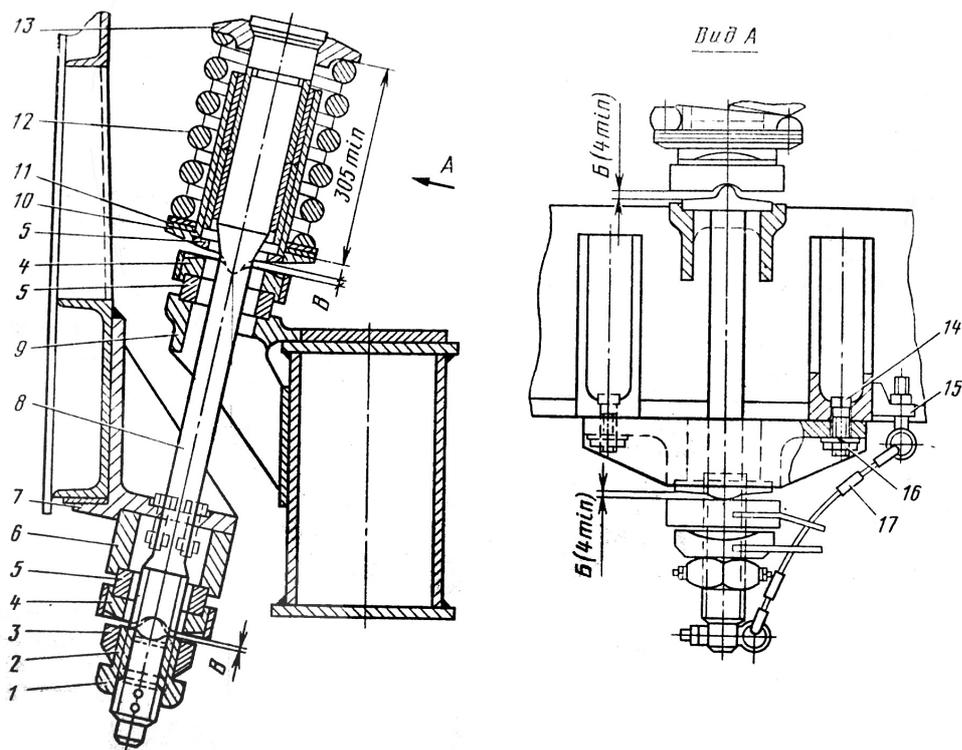


Рис. 3.30. Устройство люлечной подвески

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

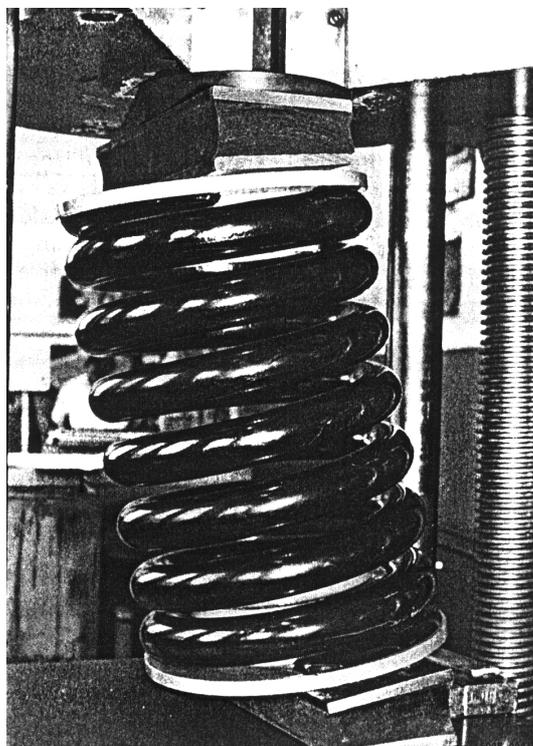


Рис. 3.31. Пружина гибкая в поперечном направлении

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

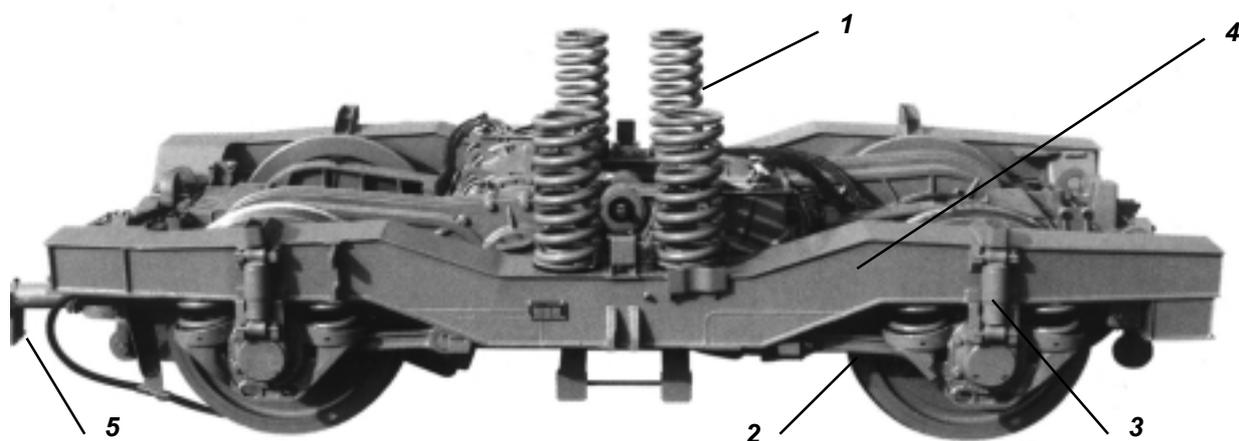


Рис. 3.32. Тележка с центральным рессорным подвешиванием типа «flexicoil»
1 – гибкие пружины (flexicoil); 2 – поводок буксы; 3 – буксовый гаситель колебаний; 4 – рама тележки; 5 – наклонная тяга

4. ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЙ ПУТЬ

4.1 Основы устройства железнодорожного пути, план и профиль. Габариты

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

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

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

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

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

на шпалы.

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

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

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

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

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

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

Ширина габарита приближения строений С составляет 4900 мм.

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

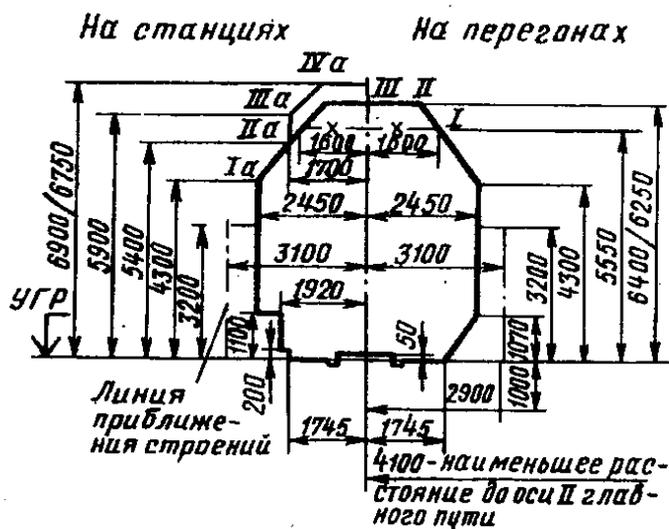


Рис. 4.1. Габарит приближения строений С: УГР – уровень верха головки рельса; Х – для сооружений устройств на путях, где электрификация исключена

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

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

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

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

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

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

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

Таблица 4.1

Основные данные о габаритах

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

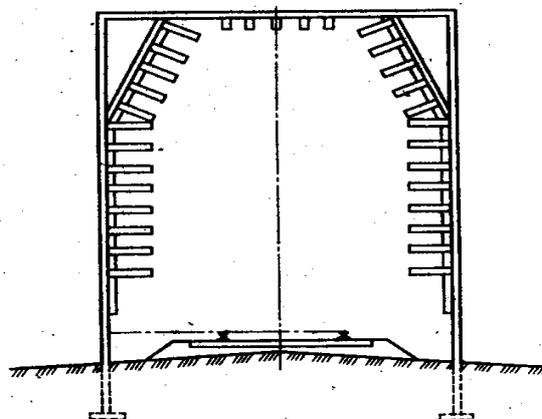
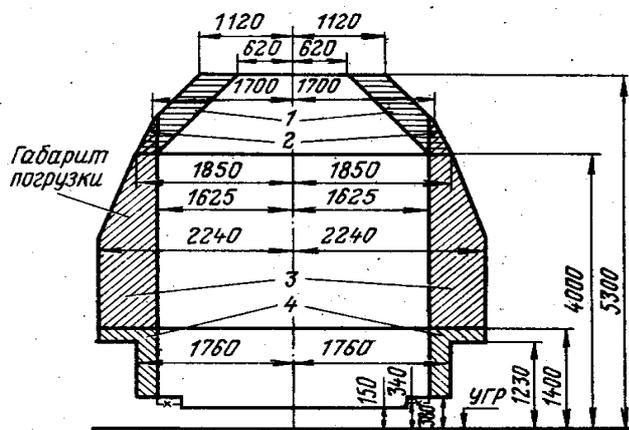


Рис.4.2 Зоны негабаритности грузов
1, 2, 3, 4 – соответственно верхняя,
совместная боковая и верхняя, боковая,
нижняя негабаритности

Рис. 4.3 Габаритные ворота

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

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

4.2 Земляное полотно, верхнее строение пути

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

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

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