

Г. С. АФОНИН, В. Н. БАРЩЕНКОВ, Н. В. КОНДРАТЬЕВ

УСТРОЙСТВО И ЭКСПЛУАТАЦИЯ ТОРМОЗНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Учебник

Рекомендовано

*Федеральным государственным автономным учреждением
«Федеральный институт развития образования»
в качестве учебника для использования в учебном процессе
образовательных учреждений, реализующих программы
начального профессионального образования*

*Регистрационный номер рецензии 507
от 14 декабря 2012 г. ФГАУ «ФИРО»*

7-е издание, стереотипное



Москва
Издательский центр «Академия»
2013

УДК 656.071.2(075.32)

ББК 39.22-08я722

А946

Авторы:

канд. техн. наук, проф. *Г. С. Афонин* — введение, гл. 1;
канд. техн. наук *В. Н. Барщенков* — гл. 3, подразд. 4.4, 4.7—4.10, 5.4—5.7,
гл. 6, 7, 9; инж. *Н. В. Кондратьев* — гл. 2, подразд. 4.1—4.3, 4.5, 4.6,
5.1—5.3, гл. 8, 10—12

Рецензент —

зам. директора по учебной работе ПУ № 129 г. Москвы *А. М. Алякров*

Афонин Г. С.

А946 Устройство и эксплуатация тормозного оборудования подвижного состава : учебник для нач. проф. образования / Г. С. Афонин, В. Н. Барщенков, Н. В. Кондратьев. — 7-е изд., стер. — М. : Издательский центр «Академия», 2013. — 304 с. ISBN 978-5-7695-9758-9

Даны сведения по устройству, работе и техническому обслуживанию тормозных приборов и устройств железнодорожного подвижного состава; приведены схемы расположения тормозного оборудования и схемы тормозных рычажных передач локомотивов и вагонов. Показано значение автотормозов для обеспечения безопасности движения поездов. Рассмотрены вопросы технического обслуживания тормозного оборудования и управления тормозами.

Для учащихся учреждений начального профессионального образования. Может быть использован специалистами железнодорожного транспорта, связанными с обслуживанием тормозов подвижного состава.

УДК 656.071.2(075.32)

ББК 39.22-08я722

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

ISBN 978-5-7695-9758-9

© Афонин Г.С., Барщенков В.Н., Кондратьев Н.В., 2005
© Образовательно-издательский центр «Академия», 2008
© Оформление. Издательский центр «Академия», 2008

ВВЕДЕНИЕ

Эффективность тормозных средств является одним из важнейших условий, определяющих возможность повышения веса и скорости движения поездов, пропускной и провозной способности железных дорог. От свойств и состояния тормозного оборудования подвижного состава в значительной степени зависит безопасность движения.

Первая попытка применения автоматического тормоза на подвижном составе была предпринята в 1847 г. Этот тормоз был механическим и управлялся с помощью троса, натянутого вдоль поезда.

В 1869 г. появился первый пневматический неавтоматический тормоз, который не обеспечивал торможение поезда при разъединении воздушных рукавов, а в 1872 г. — автоматический, особенностью которого являлось наличие на каждом вагоне воздухо-распределителя и запасного резервуара.

В России широкое внедрение автоматического тормоза началось в 1882 г., в связи с чем в Петербурге в 1899 г. фирмой «Вестингауз» был построен тормозной завод. Первым изобретателем отечественного автоматического тормоза был машинист Ф. П. Казанцев. Его двухпроводной «неистошимый тормоз» был успешно испытан в пассажирском поезде в 1910 г. В 1923 г. Московский тормозной завод выпустил первые образцы отечественных тормозов системы Ф. П. Казанцева для пассажирских поездов. В 1927 г. Ф. П. Казанцев создал воздухо-распределитель нового типа. Вскоре такими воздухо-распределителями были оборудованы грузовые поезда.

Большие заслуги в деле создания и оснащения подвижного состава отечественными пневматическими автотормозами принадлежат известному изобретателю И. К. Матросову. Воздухо-распределитель усл. № 320 его конструкции в 1932 г. был принят в качестве типового для грузового подвижного состава. В 1950—60 гг. практически весь подвижной состав железных дорог СССР был оборудован воздухо-распределителями усл. № 270 и усл. № 292 и концевыми кранами системы и конструкции И. К. Матросова.

Широкое применение электропневматических тормозов на электропоездах началось с 1948 г., а в пассажирских поездах с локомотивной тягой — с 1958 г., когда Московский тормозной завод приступил к серийному выпуску электровоздухо-распределителей усл. № 170 и усл. № 305.

С 1947 г. вагонный парк железных дорог СССР начал оснащаться автоматическими регуляторами тормозной рычажной переда-

чи, а с 1966 г. — автоматическими регуляторами режимов (авторегимами торможения). Начиная с 1964 г. вагоны стали оборудоваться композиционными колодками, эксплуатационные и технологические качества которых продолжают совершенствоваться и сегодня.

Большую роль в развитии отечественного тормозостроения сыграли работы по теории торможения, основоположником которой является профессор Н. П. Петров. Современное развитие науки о торможении получила в трудах известных ученых В. Ф. Егорченко, В. Г. Иноземцева, Б. Л. Карвацкого, В. М. Казаринова и др.

В процессе развития и совершенствования тормозов большое внимание уделяется созданию новых устройств и систем безопасности, связанных с работой приборов тормозного оборудования, систем автоведения поезда, систем автоматического управления тормозами (САУТ), локомотивных скоростемеров. Только за последнее десятилетие были разработаны и внедрены в эксплуатацию устройство контроля параметров движения поезда «Дозор», телеметрическая система контроля бодрствования машиниста (ТСКБМ), электронный скоростемер КПД-3 (КПД-3В), комплексное локомотивное устройство безопасности (КЛУБ) и др.

В учебнике рассмотрены устройство и действие приборов управления тормозами, компрессоров и воздушных резервуаров, приборов торможения и тормозных рычажных передач, автоматической локомотивной сигнализации и автостопов, а также вопросы технического обслуживания тормозного оборудования и управления тормозами. Приведены схемы расположения пневматического тормозного оборудования на подвижном составе и показано взаимодействие тормозных приборов.

Описание приборов и устройств тормозного оборудования паровозов, а также скоростного подвижного состава в настоящем учебнике не приводится, так как эти вопросы достаточно подробно изложены в специальной литературе.

Глава 1

ОСНОВЫ ТЕОРИИ ТОРМОЖЕНИЯ

1.1. Назначение тормозов

В процессе движения поезда на него действуют силы, различные по своему характеру и направлению. Различают силы внешние (например, сила сопротивления движению от уклона) и внутренние (например, сила трения в моторно-осевых подшипниках). Внешние силы можно разделить на управляемые (сила тяги) и неуправляемые (силы сопротивления движению). В зависимости от соотношения управляемых и неуправляемых сил, поезд может двигаться ускоренно, замедленно или с равномерной скоростью.

Сила тяги — внешняя движущая сила, которая создается тяговыми электродвигателями локомотива во взаимодействии с рельсами. Она приложена к ободу колес в направлении движения. Для остановки поезда необходимо исключить действие силы тяги, т. е. отключить тяговые двигатели локомотива. Однако поезд продолжит движение по инерции за счет накопленной кинетической энергии и до полной остановки пройдет значительное расстояние. Чтобы обеспечить остановку поезда в требуемом месте или снижение скорости движения на определенном участке следования, необходимо искусственно увеличить силы сопротивления движению.

Устройства, применяемые в поездах для создания искусственного сопротивления движению, называются *тормозами*, а силы, создающие искусственное сопротивление движению, — тормозными силами.

Тормозные силы и силы сопротивления движению гасят кинетическую энергию движущегося поезда.

1.2. Способы создания замедления движения

Различают фрикционный, реверсивный и электромагнитный способы создания замедления движения.

Фрикционный способ. При этом способе сопротивление движению создается вследствие трения тормозных колодок (или специальных накладок) о поверхность катания колес подвижного состава (или дисков). В этом случае кинетическая энергия поезда

преобразуется в теплоту, нагревающую трущиеся детали и рассеиваемую в окружающую среду.

Реверсивный способ. На локомотивах с электрической передачей осуществляется переключение тяговых электродвигателей в генераторный режим, что вызывает изменение направления электромагнитного момента электрической машины. Это торможение называется электродинамическим. Оно бывает *рекуперативным* или *реостатным*. В первом случае вырабатываемая электрическая энергия возвращается в контактную сеть, во втором — электрическая энергия поступает на специальные тормозные резисторы и превращается в теплоту, которая рассеивается в окружающую среду.

Реверсивный способ создания замедления движения применяется также на локомотивах с гидропередачей (гидродинамический тормоз) и на паровозах (контрпар).

Электромагнитный способ. При этом способе тормозная сила создается притяжением специальных тормозных башмаков с электромагнитами к рельсам. На подвижном составе применяются как электромагнитные рельсовые тормоза, так и тормоза с использованием вихревых токов. Особенность этого способа создания замедления заключается в том, что мощность тормоза ограничивается только значением допустимого замедления. Поэтому электромагнитный способ используют только при экстренном торможении.

1.3. Классификация тормозов

Тормоза классифицируют по способу создания тормозной силы, свойствам системы управления и назначению.

По способу создания тормозной силы различают фрикционные тормоза (колодочные и дисковые) и динамические (электродинамические, гидродинамические и реверсивные).

По свойствам системы управления различают тормоза автоматические (прямо- и непрямодействующие) и неавтоматические (прямодействующие).

Тормоза этих двух типов подразделяются на пневматические, электропневматические и электрические. Принципиальное отличие пневматического тормоза от электропневматического состоит только в способе управления: управление пневматическим тормозом осуществляется изменением давления сжатого воздуха в специальном воздухопроводе (тормозная магистраль), проложенном вдоль каждого локомотива и вагона, а управление электропневматическим тормозом осуществляется электрическим током. В качестве рабочего тела в обоих случаях используется энергия сжатого воздуха.

Автоматические тормоза должны автоматически приходить в действие (затормаживать) при определенном темпе снижения дав-

ления в тормозной магистрали. Прямо- или непрямодействие автоматического тормоза определяется конструкцией воздухораспределителя. Прямодействующий автоматический тормоз — это тормоз грузовых вагонов, оборудованный воздухораспределителем усл. № 483, который способен поддерживать установленное давление в тормозном цилиндре независимо от плотности последнего.

Непрямодействующий автоматический тормоз — это тормоз пассажирских вагонов, оборудованный воздухораспределителем усл. № 292, который не восполняет утечки сжатого воздуха из тормозного цилиндра.

Примером прямодействующего неавтоматического тормоза служит вспомогательный локомотивный тормоз. В случае приведения его в действие воздух из главных резервуаров поступает в тормозные цилиндры.

По назначению различают тормоза грузовые, пассажирские и скоростные. За характеристику их работы принимают время наполнения и опорожнения тормозного цилиндра.

1.4. Образование тормозной силы

Для торможения подвижного состава к нему должны быть приложены внешние силы, действующие против направления движения поезда.

Рассмотрим кинематику катящейся колесной пары. Она совершает сложное движение, состоящее из двух простых (рис. 1.1): прямолинейного движения вместе со всем поездом со скоростью v и вращательного — вокруг собственной оси O с угловой скоростью ω . Вращательное движение обусловлено сцеплением колес с рельсами в точке O_1 их контакта. Это сцепление происходит под действием вертикальной нагрузки q . В точке O_2 , находящейся в данное мгновение в самом верхнем положении, поступательное и вращательное движения направлены в одну и ту же сторону — вперед (по ходу движения поезда), поэтому скорости поступательного и вращательного движения (без проскальзывания) складываются, и мгновенная абсолютная скорость колеса в этой точке оказывается $v + v = 2v$, т.е. вдвое больше скорости поезда. Нижняя точка O_1 , находящаяся в сцеплении с рельсом,

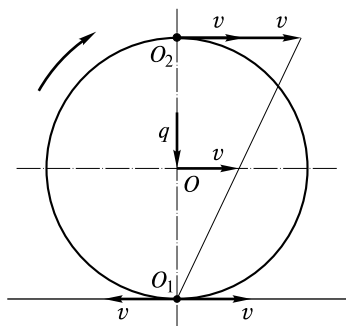


Рис. 1.1. Схема разложения скоростей на движущемся колесе

в каждый момент времени качения колеса оказывается неподвижной ($-v + v = 0$): колесо как бы поворачивается вокруг точки сцепления O_1 , которая в механике называется мгновенным центром вращения.

Это означает, что в точке O_1 сила трения отсутствует (силой трения качения пренебрегаем), а действует только сила сцепления, которая образуется за счет взаимодействия микроскопических неровностей на поверхностях колеса и рельса, а также за счет сил молекулярного притяжения, возникающих под действием осевой нагрузки q , значение которой достигает 15 тс.

Теперь рассмотрим силовые процессы, происходящие после прижатия колодки к катящемуся колесу (рис. 1.2). Нажатие на вращающееся колесо колодки с силой K под углом α вызывает появление силы трения T между колодкой и колесом, которая действует на колесо против его вращения, т.е. стремится остановить это вращение. Тормозить поступательное движение поезда сила трения T не может, так как это внутренняя сила по отношению к поезду (колодка является частью самого поезда и движется вместе с ним).

Однако под действием внутренней силы T колесо начинает «цепляться» за рельс в точке контакта O_1 . Возникает сила сцепления B_c колеса с рельсом, равная силе T . Сила B_c стремится утащить рельс за собой (сдвинуть его по ходу движения поезда). Так как рельс прикреплен к шпалам, то он остается неподвижным. (В путевом хозяйстве хорошо известно явление угона рельсов под действием сил сцепления B_c . Особенно интенсивно угон рельсов происходит в местах, где обычно производится служебное торможение поездов.) В свою очередь, неподвижный рельс тормозит катящееся по нему колесо с силой B_r , являющейся реакцией рельса на силу B_c . Сила B_r — внешняя по отношению к поезду и направлена против направления его движения, поэтому она является тормозной силой.

Тормозная сила выполняет еще одну важную функцию: как реакция рельса на силу T по направлению вращения катящегося колеса, она уравнивает эту силу трения T , заставляя колесо продолжать замедляющееся вращение и препятствуя переходу колесной пары на юз.

Итак, колодки прижимаются к колесам для того, чтобы возникшая сила трения T вызвала появление равной ей внешней силы B_r , которая, будучи направленной по вращению колеса, препятствует переходу его на юз и в то же время, имея направление против движения по-

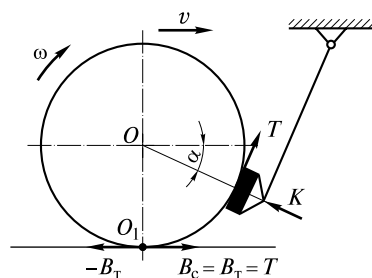


Рис. 1.2. Образование тормозной силы

езда, тормозит его. Чтобы облегчить представление этой картины, достаточно мысленно приподнять тормозимые колесные пары над рельсами, и тогда станет ясно, что колесные пары, потеряв сцепление с рельсами, под действием сил трения T практически мгновенно прекратят вращение, но сам поезд будет продолжать движение вперед. Точно так же торможение самолетов колесами их шасси возможно только после приземления на посадочную полосу.

1.5. Коэффициент трения тормозных колодок

Сила трения T между колесом и колодкой оказывается в несколько раз меньше силы K нажатия колодки на колесо. Отношение T/K в механике называется коэффициентом трения и обозначается в тормозных расчетах φ_k .

Если известна величина коэффициента трения, то сила трения определяется из равенства $T = \varphi_k K$, а тормозная сила B_T одиночного колеса (без учета влияния инерции вращающихся масс) численно равна силе трения, т. е. $B_T = T$.

Значения коэффициентов трения определяют опытным путем на специальных стендах или посредством торможения составов из нескольких одинаковых вагонов. Этот сцеп разгоняется локомотивом-толкачом до максимальной скорости, после чего толкач отстает, а поезд тормозится при определенной силе нажатия колодок. Следующий такой опыт проводят при другой силе нажатия колодок и т. д. По записям, полученным на специальной скоростемерной ленте, рассчитывают тормозные силы в интервалах скоростей 10 или 5 км/ч.

На основании опытов составляют зависимости коэффициентов трения (рис. 1.3) от скорости движения для различных сил нажатия колодок. Затем по полученным результатам выводят эмпирические (опытные) формулы, например:

$$\varphi_k = 0,44 \frac{v + 150}{2v + 150} \frac{K + 20}{4K + 20}; \quad (1.1)$$

$$\varphi_k = 0,6 \frac{v + 100}{5v + 100} \frac{16K + 100}{80K + 100}. \quad (1.2)$$

Эти формулы утверждаются МПС для дальнейшего использования при всех практических расчетах, проводимых для колодок того или иного типа. Например, формула (1.1) применяется для расчета коэффициентов трения композиционных колодок, а формула (1.2) — для чугунных.

Основными факторами, влияющими на значения коэффициентов трения, являются скорость движения, удельная сила нажатия

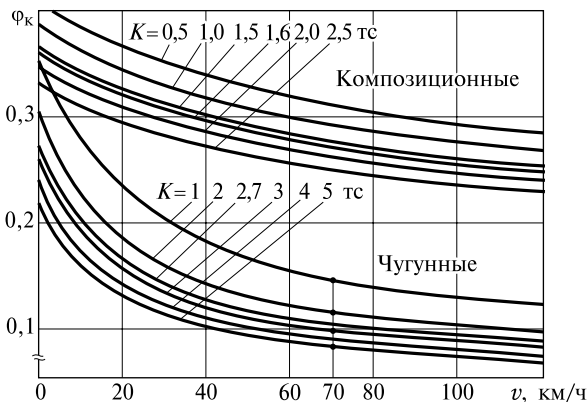


Рис. 1.3. Зависимости действительного коэффициента трения колодок от действительного нажатия на колодку и скорости движения

колодки на колесо, а также материал колодки. Из рис. 1.3 и приведенных выше формул видно, что с уменьшением скорости коэффициент трения увеличивается. Машинистам это хорошо известно из практики: по мере уменьшения скорости ощущается усиление тормозного эффекта (замедление поезда), особенно при чугунных колодках. С увеличением силы K коэффициент трения снижается, но это не значит, что с ростом силы K сила трения T уменьшается — она увеличивается, но не пропорционально силе K .

Пример. При скорости $v = 70$ км/ч и силе нажатия $K = 1$ тс коэффициент трения чугунной колодки $\varphi_k = 0,146$. Значит, сила трения колодки $T = \varphi_k K = 0,146$ тс. При увеличении силы нажатия в 2 раза, т. е. при $K = 2$ тс, при той же скорости 70 км/ч коэффициент трения оказывается меньше: $\varphi_k = 0,115$. Сила же трения составит $T = 0,23$ тс, т. е. увеличится, но не в 2 раза, а только в 1,57 раза. При увеличении силы нажатия в 5 раз ($K = 5$ тс) коэффициент трения при той же скорости $v = 70$ км/ч оказывается всего $\varphi_k = 0,09$, а сила трения $T = 0,45$ тс, т. е. увеличивается, но всего в 3 раза.

Из сравнения кривых, представленных на рис. 1.3, видно, что коэффициенты трения композиционных колодок выше, чем чугунных, а сами кривые более пологие, т. е. интенсивность снижения коэффициента трения при увеличении скорости значительно меньше.

1.6. Коэффициент сцепления

Качение колеса по рельсу без проскальзывания происходит при условии, что сила сцепления B_c больше силы трения B_t , действу-

ющей со стороны рельса на колесо в точке их контакта. Сила сцепления вычисляется по формуле

$$B_c = q\psi_k, \quad (1.3)$$

где q — осевая нагрузка, тс; ψ_k — коэффициент сцепления между колесом и рельсом.

Сцепление колес с рельсами представляет собой сложный процесс как результат зацепления микронеровностей поверхностей колеса и рельса и их молекулярного притяжения.

Коэффициент сцепления зависит в основном от осевой нагрузки q , состояния поверхностей колеса и рельса, скорости движения, площади контакта, типа тягового привода и может изменяться в широких пределах (от 0,04 до 0,30). Наиболее неблагоприятное сцепление имеет место при морозящем дожде, образовании на рельсах инея или при загрязнении рельсов перевозимыми нефтепродуктами, смазочными материалами, торфяной пылью. Простым и эффективным способом повышения коэффициента сцепления является подача песка под колеса.

1.7. Условие безюзового торможения

Явление, когда колесо прекращает свое вращение и начинает скользить по рельсу при продолжающемся движении поезда, называется *заклиниванием*, или *юзом*.

Как правило, заклинивание колесной пары не происходит мгновенно. Сначала сила трения увеличивается до значения B_c , а затем происходит заклинивание колес и тормозная сила резко снижается до силы трения скольжения. При скольжении в точке контакта колеса с рельсом кинетическая энергия превращается в тепловую, что может привести к сдвигу металла на поверхности качения колеса (появлению навара) или образованию овальной площадки (ползуна). Поэтому максимальное значение тормозной силы ограничивается условиями сцепления колес с рельсами. Следовательно, во избежание юза максимальное тормозное нажатие принимают таким, чтобы тормозная сила не превышала силу сцепления колеса с рельсом.

Для этого должно выполняться правило

$$B_t^{\max} \leq B_c$$

или

$$\varphi_t K = \psi_t q. \quad (1.4)$$

В этом случае максимальное нажатие колодок на ось

$$K^{\max} = \frac{\psi_k}{\varphi_k} q. \quad (1.5)$$

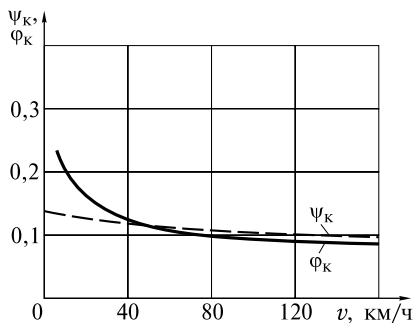


Рис. 1.4. Зависимости коэффициентов трения чугунной тормозной колодки и сцепления колеса с рельсом от скорости движения

заклинивания колесных пар выше при низких скоростях движения; при высоких скоростях значения ψ_k больше ϕ_k , а значит, опасность юза практически исключается, и силу нажатия колодки на колесо можно увеличить для реализации большей тормозной силы.

1.8. Способы регулирования тормозной силы

Важной характеристикой тормоза является его способность максимально использовать коэффициент сцепления колес с рельсами. Неполное использование сцепления имеет место в процессе наполнения тормозных цилиндров, т. е. когда тормозная сила еще не достигла максимального значения. Поэтому при допустимых условиях по продольным динамическим усилиям в поезде и заклиниванию колесных пар стремятся к минимальному времени наполнения тормозных цилиндров.

Коэффициент сцепления уменьшается с ростом скорости движения, что вызывает необходимость регулирования тормозной силы (в первую очередь для подвижного состава, оборудованного чугунными тормозными колодками). Для тормозов грузового типа большое значение в использовании сцепления имеет соответствие между тормозной силой и весом вагона, поскольку сила сцепления зависит от нагрузки колесной пары на рельс. Поэтому с целью исключения заклинивания колесных пар применяется весовое и скоростное регулирование тормозной силы.

Весовое регулирование. Соответствие между тормозной силой и весом вагона применяется в основном в тормозах грузовых поездов и достигается ручным переключением режимов торможения или применением на грузовых вагонах авторежимов, которые автоматически регулируют тормозное нажатие в зависимости

Отношение $\psi_k/\phi_k = \delta$ называют *коэффициентом нажатия* тормозной колодки. При заданной осевой нагрузке допустимые значения коэффициента нажатия будут зависеть от значений ψ_k и ϕ_k , которые, в свою очередь, зависят от скорости движения и материала колодок. При расчетах значения δ для локомотивов принимают в пределах 0,5...0,6.

Из приведенных на рис. 1.4 кривых видно, что при снижении скорости в процессе торможения значения ϕ_k становятся больше ψ_k , следовательно, вероятность за-

ти от загрузки вагона. Воздухораспределитель грузового типа имеет три режима торможения: порожний, средний и груженный. Переключение режимов выполняется вручную в зависимости от загрузки вагона, приходящейся на ось. Каждому режиму торможения соответствует определенное давление в тормозном цилиндре. Подробно об устройстве и работе авторежима рассказано в гл. 5.

Загрузку вагона можно оценить по положению клина амортизатора относительно фрикционной планки рессорного подвешивания вагона. Вагон считается порожним, если верхняя плоскость клина амортизатора находится выше фрикционной планки.

Скоростное регулирование тормозной силы. Учет изменения тормозной силы при уменьшении коэффициента сцепления при высоких скоростях движения сводится к увеличению нажатия на колодку путем повышения давления в тормозном цилиндре (рис. 1.5). В процессе уменьшения скорости при торможении переключение с высокого нажатия (K_2) на пониженное (K_1) выполняется автоматически специальными скоростными регуляторами при достижении конкретной скорости перехода (например, при $v = 50$ км/ч). Регулятор устанавливается на буксе колесной пары тележки. Регулирование тормозной силы осуществляется в случае применения полного торможения. При полном торможении и малых скоростях движения значение тормозной силы может превысить значение силы сцепления B_c колеса с рельсом, что резко повышает вероятность заклинивания колесных пар.

Наличие в составе поезда разнотипных вагонов с различными значениями K делает расчет тормозной силы с использованием формул (1.1) или (1.2) для определения коэффициентов трения весьма трудоемким. Для упрощения тормозных расчетов пользуются методом приведения, при котором действительные значения K и φ_k заменяются расчетными K_p и $\varphi_{к,р}$, а коэффициент трения определяется при одном условно выбранном тормозном нажатии K_y , но при условии выполнения равенства

$$\varphi_k K = \varphi_{к,р} K_p,$$

откуда

$$K_p = \frac{\varphi_k}{\varphi_{к,р}} K. \quad (1.6)$$

Значения K_y принимают: для чугунных колодок — 2,7 тс, для композиционных — 1,6 тс. Подставляя значения K_y в формулы (1.1) и (1.2), получим значения

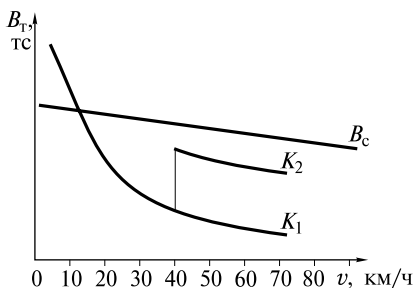


Рис. 1.5. График зависимости тормозной силы от скорости движения при скоростном регулировании

расчетных коэффициентов трения соответственно для чугунных и композиционных колодок:

$$\varphi_{к.р} = 0,27 \frac{v + 100}{5v + 100}; \quad (1.7)$$

$$\varphi_{к.р} = 0,36 \frac{v + 150}{2v + 150}. \quad (1.8)$$

Как видно из выражений (1.7) и (1.8), расчетные коэффициенты трения колодок не зависят от силы нажатия, а зависят только от скорости движения.

После подстановки значений φ_k и $\varphi_{к.р}$ в выражение (1.6) получим формулы для определения расчетных сил нажатия соответственно чугунных и композиционных колодок:

$$K_p^ч = 2,22K \frac{16K + 100}{80K + 100}; \quad (1.9)$$

$$K_p^к = 1,22K \frac{K + 20}{4K + 20}. \quad (1.10)$$

Если в поезде используются тормоза с разными типами тормозных колодок (например, чугунными и композиционными), то необходимо привести расчетное нажатие к одной системе нажатий. Это приведение выполняют умножением силы нажатия на соответствующий коэффициент эффективности. Коэффициенты эффективности, зависящие от скорости движения, определяют исходя из равенства длины тормозного пути при действии колодок разного типа. На железных дорогах России за основную принята система расчетных значений нажатий чугунных тормозных колодок, для которых установлены все тормозные нормативы и действующие номограммы и таблицы зависимости тормозных путей от скорости начала торможения, удельных расчетных нажатий и крутизны уклонов.

1.9. Тормозной путь

Тормозной путь — это расстояние, которое проходит поезд от момента перевода ручки крана машиниста в тормозное положение, в общем случае, до полной остановки.

На тормозной путь основное влияние оказывают следующие факторы:

скорость поезда в начале торможения;

профиль пути;
состояние пути и погодные условия;
масса и длина поезда;
обеспечение поезда тормозами и тип тормозной системы;
режим торможения, т. е. значение и темп разрядки тормозной магистрали.

Существует три метода тормозных расчетов:

аналитический метод Правил тяговых расчетов (ПТР) — расчет тормозного пути по интервалам скорости;

метод численного интегрирования уравнения движения поезда по интервалам времени;

графический метод.

С помощью аналитического метода ПТР решают задачи, в которых реализуется полная тормозная сила:

при определении расстояния ограждения мест препятствий движению поезда (при экстренном торможении поезда);

при выборе расстояния между постоянными сигналами (при полном служебном торможении поезда);

при проверке расчета выбора расстояния между постоянными сигналами (при автостопном торможении).

Тормозной путь при полном служебном торможении рассчитывается так же, как при экстренном торможении, но значение тормозного коэффициента принимается равным 0,8 от его полного значения.

В практике часто возникает необходимость точного расчета тормозного пути или скорости движения поезда при ступенчатых торможениях, во время безостановочного следования по переломному профилю пути и при других разнообразных условиях торможения. В таких случаях тормозные задачи решают численным интегрированием уравнения движения поезда не по интервалам скорости, а по интервалам времени.

При расчетах аналитическим методом ПТР полный тормозной путь S_T , проходимый поездом от начала торможения до остановки, принимается равным сумме пути подготовки тормозов к действию S_{Π} и действительного пути торможения $S_{\text{д}}$:

$$S_T = S_{\Pi} + S_{\text{д}}. \quad (1.11)$$

Путь подготовки тормозов к действию

$$S_{\Pi} = \frac{v_{\text{н.т}} t_{\Pi}}{3,6}, \quad (1.12)$$

где $v_{\text{н.т}}$ — скорость поезда в момент начала торможения, км/ч; t_{Π} — время подготовки тормозов поезда к действию, с; 3,6 — переводной коэффициент.

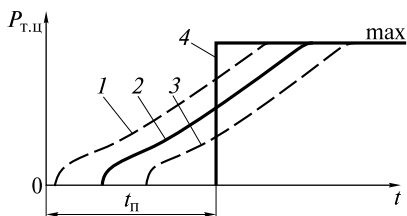


Рис. 1.6. Условное (4) и действительное возрастание давления $P_{т.ц}$ в тормозных цилиндрах головного (1), среднего (2) и хвостового (3) вагонов в зависимости от времени

Время подготовки тормозов к действию определяется из условия замены медленного реального процесса повышения давления в тормозном цилиндре $P_{т.ц}$ среднего вагона поезда мгновенным повышением давления до максимального значения, при условии равенства тормозных путей, проходимых поездом при реальном и условном наполнении тормозных цилиндров. Иными словами, в течение условного времени $t_{п}$ подготовки считают, что тормоза в действие еще не пришли, но по прошествии его тормозная сила мгновенно возрастает до максимального значения (рис. 1.6).

В зависимости от рода подвижного состава и его длины время подготовки тормозов к действию определяется по формуле

$$t_{п} = a - b \frac{i_c}{b_T}, \quad (1.13)$$

где i_c — спрямленный уклон, ‰; b_T — удельная тормозная сила, кгс/т; a , b — коэффициенты.

Значения коэффициентов a и b зависят от рода движения, вида управления тормозами в пассажирском поезде и от длины поезда в осях.

Действительный путь торможения определяется суммированием путей торможения в выбираемых интервалах скорости при условии постоянства удельных сил, действующих на поезд в этом интервале:

$$S_{д} = \frac{4,17[(v_{н})^2 - (v_{к})^2]}{b_T + w_{о,х} + i_c}, \quad (1.14)$$

где $v_{н}$, $v_{к}$ — начальная и конечная скорости поезда в принятом интервале скоростей, км/ч; $w_{о,х}$ — удельное основное сопротивление движению поезда при холостом ходе локомотива, кгс/т.

Удельная тормозная сила определяется по формуле

$$b_T = 1000\varphi_{к,р}\vartheta_p, \quad (1.15)$$

где $\varphi_{к,р}$ — расчетный коэффициент трения тормозных колодок; ϑ_p — расчетный тормозной коэффициент поезда, показывающий

силу тормозного нажатия в тоннах силы (тс), приходящуюся на 1 тс веса поезда.

Расчетный тормозной коэффициент поезда с учетом веса и тормозного нажатия локомотива

$$\vartheta_p = (K_{p,л} + K_{p,в}) / (P + Q), \quad (1.16)$$

где $K_{p,л}$, $K_{p,в}$ — сумма расчетных сил нажатия тормозных колодок локомотива и вагонов соответственно, тс; P — вес локомотива, тс; Q — вес состава, тс.

Сумму расчетных сил нажатия тормозных колодок поезда подсчитывают по формуле

$$K_p = \sum_{i=1}^n n_i K_{p_i} m_i, \quad (1.17)$$

где n_i — число однотипных вагонов, оборудованных однотипными колодками; K_{p_i} — расчетное нажатие на колодку; m_i — количество колодок на единице подвижного состава.

Эту сумму можно определить также из справки формы ВУ-45 об обеспечении поезда тормозами и исправном их действии, которая выдается машинисту по результатам полного опробования тормозов.

При определении расчетного тормозного коэффициента грузового поезда на уклонах до 20‰ вес локомотива и нажатие его колодок не учитываются.

Основное удельное сопротивление движению поезда при холостом ходе локомотива может быть подсчитано по формуле

$$W_{o,x} = \frac{W_o Q + W_x P}{Q + P}, \quad (1.18)$$

где W_o — основное удельное сопротивление движению вагонов; W_x — основное удельное сопротивление движению локомотива на холостом ходу.

Формулы для вычисления W_o и W_x приведены в Правилах тяговых расчетов для поездной работы.

Уклон (крутизна) i_c спрямляемого участка в продольном профиле

$$i_c = \sum_{k=1}^n i_k l_k / L, \quad (1.19)$$

где i_k ($k = 1, \dots, n$) — значения уклонов (крутизны) каждого из элементов профиля пути, входящих в спрямляемый участок, ‰; l_k ($k = 1, \dots, n$) — длина каждого из элементов профиля пути спрямляемого участка, м; L — длина спрямляемого участка, м.

Действительный тормозной путь при автостопном торможении определяют так же, как при экстренном торможении, а время подготовки тормозов к действию рассчитывают с учетом дополнительных 12 с, необходимых для срабатывания электропневматического клапана (ЭПК) автостопа.

По результатам расчетов тормозных путей при экстренном торможении строят специальные графики (номограммы) или таблицы, в которых указываются длины тормозных путей в зависимости от расчетного нажатия колодок на 100 тс веса состава или поезда (или в зависимости от расчетного тормозного коэффициента) для различных начальных скоростей и уклонов. Эти номограммы и таблицы приведены соответственно в Правилах тяговых расчетов и в Инструкции по эксплуатации тормозов подвижного состава железных дорог.

Контрольные вопросы

1. Что называется тормозами?
2. Какие существуют способы создания замедления движения?
3. Чем отличаются пневматический автоматический прямодействующий тормоз от непрямодействующего?
4. От каких факторов зависит коэффициент трения тормозных колодок?
5. От каких факторов зависит коэффициент сцепления колес с рельсами?
6. В чем заключается условие безюзового торможения?
7. Какие имеются способы для регулирования тормозной силы?
8. Какие основные факторы влияют на тормозной путь?
9. Как рассчитываются путь подготовки тормозов к действию и действительный путь торможения аналитическим методом ПТР?