

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

АВТОМАТИЧЕСКИЕ ТОРМОЗА ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

УЧЕБНИК

*Рекомендовано
Государственным образовательным учреждением
высшего профессионального образования
«Московский государственный университет путей сообщения»
в качестве учебника для студентов учреждений среднего
профессионального образования, обучающихся по специальности
«Техническая эксплуатация подвижного состава железных дорог»*

*Регистрационный номер рецензии 277
от 04 июня 2009 г. ФГУ «ФИРО»*

4-е издание, стереотипное



Москва
Издательский центр «Академия»
2013

УДК 629.4.077(075.32)

ББК 39.26я723

A224

Авторы:

канд. техн. наук, проф. *Г. С. Афонин* — введение, гл. 1, 2; канд. техн. наук, доц.

В. Н. Барщенков — подразд. 4.3, 6.5, 6.6, гл. 8, 10, подразд. 11.1—11.6; инж.

Н. В. Кондратьев — гл. 3, подразд. 4.1, 4.2, гл. 5, подразд. 6.1—6.4, гл. 7, 9,
подразд. 11.7—11.10

Рецензент —

преподаватель Санкт-Петербургского техникума железнодорожного транспорта, канд. техн. наук, доц. *В. И. Бахолдин*

Афонин Г. С.

A224 Автоматические тормоза подвижного состава : учебник для студ. учреждений сред. проф. образования / Г. С. Афонин, В. Н. Барщенков, Н. В. Кондратьев. — 4-е изд., стер. — М. : Издательский центр «Академия», 2013. — 320 с.

ISBN 978-5-7695-9687-2

Приведены сведения по устройству и работе тормозных приборов и устройств железнодорожного подвижного состава. Описаны схемы расположения тормозного оборудования и тормозных рычажных передач локомотивов и вагонов. Показано значение автотормозов для обеспечения безопасности движения поездов. Рассмотрены вопросы ремонта, испытаний и технического обслуживания основного тормозного оборудования локомотивов и вагонов и управления тормозами с учетом изменений в действующих правилах и инструкциях по эксплуатации тормозов.

Учебник может быть использован при освоении профессионального модуля ПМ.01 «Эксплуатация и техническое обслуживание подвижного состава» (МДК.01.01-01.02) по специальности 190623 «Техническая эксплуатация подвижного состава железных дорог».

Для студентов учреждений среднего профессионального образования. Может быть использован учащимися учебно-производственных центров и технических школ машинистов локомотивов, специалистами железнодорожного транспорта, занимающимися обслуживанием, эксплуатацией и ремонтом тормозов подвижного состава.

УДК 629.4.077(075.32)

ББК 39.26я723

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

© Афонин Г. С., Барщенков В. Н., Кондратьев Н. В., 2010

© Образовательно-издательский центр «Академия», 2010

ISBN 978-5-7695-9687-2 © Оформление. Издательский центр «Академия», 2010

ПРЕДИСЛОВИЕ

Одновременно с появлением самодвижущихся экипажей появилась и задача остановки этих экипажей на возможно более коротком пути. Особенно остро эта проблема встала при эксплуатации железнодорожного транспорта.

Для остановки поезда или регулирования скорости его движения машинист регулирует режим работы тяговых устройств или выключает их, однако поезд продолжает двигаться за счет накопленной ранее кинетической энергии. Если сила тяги не действует, то кинетическая энергия уменьшается за счет работы сил сопротивления движению и скорость поезда снижается. Но так как работа сил сопротивления движению поезда, движущегося по инерции, значительно меньше его кинетической энергии, путь, пройденный поездом до полной остановки, будет значительным. Например, поезд массой 3 500 т, имеющий начальную скорость 70 км/ч, на горизонтальном участке пути пройдет по инерции около 13 км и затратит на остановку более 20 мин. Поэтому для повышения пропускной способности возникает задача создания искусственных сил, замедляющих скорость движения поезда.

Устройства, применяемые для создания искусственных сил сопротивления, называют *тормозными устройствами* (тормозами), а силы, создающие искусственное сопротивление, — *тормозными силами*.

Один из основных законов механики — закон движения центра тяжести — гласит, что остановить поезд или замедлить его ход можно только с помощью внешних по отношению к нему сил, т. е. таких сил, которые возникают, когда части тел, не принадлежащих поезду, действуют на части тел, входящих в состав поезда.

Из числа тел, не входящих в состав поезда, только атмосфера и рельсы имеют точки соприкосновения с поездом, поэтому только действие этих двух тел на поезд может замедлить или совершенно остановить его движение. Известно, что сопротивление атмосферы движению поезда так мало, что, не делая большой ошибки, им можно было бы вовсе пренебречь при рассмотрении остановки заторможенного поезда, особенно при невысоких скоростях движения и больших массах поездов.

Следовательно, силы, останавливающие поезд, возникают почти исключительно в точках прикосновения колес к рельсам. По-видимому, это противоречит ежедневно наблюдаемому факту, так как известно, что останавливают поезд тормоза. Действительно, тормоза останавливают поезд, но не сами по себе, не непосредственно. Их действие состоит в том, что они возбуждают те внешние силы сцепления или трения между колесами и рельсами, которые непосредственно замедляют движение.

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

Настоящий учебник предназначен для подготовки специалистов в области технической эксплуатации подвижного состава как на магистральных железных дорогах при поездной и маневровой работе, так и на промышленном железнодорожном транспорте. При его написании авторы преследовали главную цель — помочь студентам разобраться в устройстве и принципе действия тормозного оборудования подвижного состава, в основах его эксплуатации, технического обслуживания и ремонта, ознакомить их с основными понятиями теории тормозных процессов и методами расчетов основных параметров и характеристик тормозных устройств. Материал учебника представляет собой описательный курс тормозов и тормозного оборудования и имеет объем, обязательный для каждого работника вагонного и локомотивного хозяйства.

Приведены сведения по конструкции, работе, ремонту и эксплуатации тормозных приборов и устройств железнодорожного подвижного состава; схемы расположения тормозного оборудования и схемы тормозных рычажных передач локомотивов и вагонов.

Показано значение автотормозов для обеспечения безопасности движения поездов. Рассмотрены устройство, работа и испытания приборов управления тормозами, приборов торможения, компрессоров и воздухопроводов, локомотивной сигнализации и автостопов, а также вопросы технического обслуживания тормозного оборудования и управления тормозами.

Описания приборов и устройств тормозного оборудования паровозов в настоящем учебнике не приведены, так как они достаточно подробно представлены в специальной литературе и в учебниках более ранних изданий.

При написании учебника авторы использовали материалы современной российской и зарубежной периодической печати, действующие нормативные акты, инструкции, положения и другие официальные документы, касающиеся эксплуатации и ремонта тормозного оборудования.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ТОРМОЗАХ

1.1. Назначение тормозов. Способы создания тормозных сил

Тормозами называются устройства, предназначенные для создания искусственных дополнительных регулируемых сил сопротивления движению. Силы, вызывающие дополнительное сопротивление движению, называются *тормозными силами*. Рассмотрим возможные способы создания тормозных сил.

Аэродинамическое торможение осуществляется за счет увеличения воздушного сопротивления движению путем создания дополнительной турбулентности потока воздуха, обтекающего движущийся объект. Это достигается изменением формы движущегося объекта и увеличением площади его поперечного сечения, например устройством закрылков на самолете, применением специального тормозного парашюта.

На японских железных дорогах ведутся эксперименты с аэродинамическими тормозами, которые должны обеспечить при скорости поезда 360 км/ч более короткий тормозной путь, чем тот, который сейчас установлен для скорости 275 км/ч. Для этого на крыше головного и хвостового вагонов поезда размещены аэродинамические системы, выполненные в виде лопастей — «ушей», применяемые при экстренном торможении.

Реверсивный способ заключается в переключении двигателя на режим работы задним ходом. Примерами могут служить применение режима контрпара на паровозах, переключение работы винта на задний ход на водных судах, реверсирование двигателей самолетов при посадке и т. п. Применение режима контртока на локомотивах с электрическим приводом опасно из-за возникновения токов большой силы в электрических цепях локомотива; больших сжимающих сил в поезде, что может привести к выдавливанию отдельных вагонов; необходимости усложнения цепей управления локомотивом и при больших массах поездов не дает должного эффекта.

Динамическое торможение осуществляется переводом тягового двигателя в генераторный режим. Примерами могут служить торможение двигателем на автомобиле; гидродинамическое торможение локомотива при наличии на нем гидравлического привода;

при применении линейных двигателей для создания силы тяги возможен перевод их в тормозной режим; электрическое *реостатное* (на тепловозах, электровозах и мотор-вагонном подвижном составе) и *рекуперативное* торможение (на электровозах и мотор-вагонном подвижном составе). Этот вид торможения, как и с применением режима контртока, требует усложнения схемы управления локомотивом (а при рекуперативном торможении и в системе энергоснабжения), умелого использования этого вида торможения, так как при нем также возникают большие продольные сжимающие силы в поезде, кроме того, тормозная сила динамического тормоза уменьшается по мере снижения скорости, и нулевая скорость соответствует нулевой тормозной силе.

Магниторельсовый способ осуществляется башмаком, который прижимается к рельсу за счет действия магнитных сил, а тормозная сила создается за счет трения его колодок о рельс. Для безопасной работы магниторельсового тормоза требуется тщательный уход за путями (рельсами), особенно в местах стыков и стрелочных переводов. Его основное достоинство заключается в том, что тормозная сила не зависит от силы сцепления колес с рельсами и не происходит изнашивания поверхностей качения колес.

При **вихретоковом способе** торможения электромагнитный башмак взаимодействует или с колесным центром, или с рельсом. Основным недостатком этого способа торможения состоит в том, что тормозная сила в большой степени зависит от ширины зазора между магнитной катушкой и колесным центром (рельсом), кроме того, для питания электромагнита необходимо иметь в вагоне дополнительный источник энергии.

Фрикционный способ осуществляется колодочными и дисковыми тормозами. Их основной недостаток — зависимость коэффициента трения от скорости движения и усилия нажатия на колодку. Кроме того, сила трения колодки о колесо или диск не должна превышать силу сцепления колеса с рельсом. Однако до настоящего времени именно фрикционные тормоза чаще всего применяются на железнодорожном подвижном составе.

1.2. Перспективы развития тормозной техники и пути совершенствования тормозов подвижного состава

Для решения проблемы увеличения скоростей движения пассажирских поездов до 200 км/ч и выше необходимо повышать тормозную эффективность подвижного состава.

Во фрикционных тормозах скоростного подвижного состава с учетом зависимости коэффициента трения от скорости движения приходится изменять силу нажатия тормозных колодок или применять композиционные колодки (накладки в дисковых тормо-

зах), т. е. применять материалы трущейся пары (колесо — колодка, колодка — накладка на диске), коэффициент трения которых мало зависит от скорости.

С ростом скорости движения коэффициент сцепления колеса с рельсом также снижается. Существующие колодочные и дисковые тормоза практически полностью используют сцепление колеса с рельсом. Дальнейшее увеличение мощности тормозов приводит к заклиниванию колесных пар — к юзу, а, как известно, при юзе тормозная сила (сила сцепления колеса с рельсом) резко падает.

На основе многочисленных экспериментов, проведенных в нашей стране и за рубежом, можно сделать вывод, что в случае применения колодочного и дискового фрикционного торможения при увлажненных рельсах коэффициент сцепления не превышает 0,1, а при более высоких скоростях или неблагоприятных условиях он может снижаться до 0,05. Столь низкие значения коэффициента сцепления не позволяют обеспечить тормозной путь длиной 1 000 м уже при скоростях более 140 км/ч без использования не зависящих от сцепления систем торможения.

Даже наибольшее использование силы сцепления колес с рельсами при фрикционном торможении позволяет получить на горизонтальном участке пути при скорости поезда 200 км/ч тормозной путь длиной 1 800... 1 900 м, что не в полной мере удовлетворяет требованиям безопасности движения.

Сокращение длины тормозного пути при колодочном фрикционном торможении возможно после проведения следующих мероприятий:

- применения тормозных колодок с повышенным коэффициентом трения (но этот вариант, как уже было показано, ограничивается силой сцепления колес с рельсами);
- увеличения скорости наполнения тормозных цилиндров (этот вариант ограничивается скоростью распространения тормозной волны вдоль поезда и значительными продольными силами между соседними вагонами);
- совершенствования управления тормозами.

При установлении рациональных пределов максимальных скоростей движения в будущем следует учитывать как возможности путевых устройств и ограничения пропускных способностей железных дорог, так и возможности тормозного оборудования, а также физиологические особенности организма человека и его способность воспринимать значительные перегрузки.

Короткое время наполнения тормозных цилиндров, по возможности одинаковое по всей длине поезда, является важнейшей характеристикой тормозной системы современных поездов, курсирующих с повышенными скоростями.

Возможны различные способы достижения оптимальных характеристик тормозов.

При пневматическом управлении вагоны оборудуют ускорителями экстренного торможения, которые срабатывают только при экстренном торможении и разрыве поезда. Ускоритель более чем в 2 раза сокращает время наполнения тормозных цилиндров.

Современные воздухораспределители для грузовых поездов большой массы, которыми оснащается железнодорожный подвижной состав в России, США и Канаде, имеют устройство, ускоряющее снижение давления в тормозной магистрали не только при экстренном, но и при служебном торможении. Применение воздухораспределителей усл. № 483 с максимальной скоростью распространения тормозной волны 290...300 м/с в сочетании с расширенным диапазоном мягкости (отсутствием торможения при темпе снижения давления в тормозной магистрали до 1,0 кгс/см² за 1 мин)* позволило существенно улучшить динамику в поезде при торможении и сократить тормозные пути.

Эффективность разрядки тормозной магистрали через ускорители служебного торможения практически ограничена возможностью большего снижения давления в тормозной магистрали, чем при ее разрядке краном машиниста. Если такое снижение давления будет происходить на ступенях торможения, то питание тормозной магистрали краном машиниста в положении перекрыши вызовет отпуск автотормозов, что недопустимо.

Самым эффективным, но дорогостоящим способом повышения быстродействия тормозов является применение системы электрического управления, которая регулирует давление в тормозной магистрали (электропневматические тормоза автоматического типа) или непосредственно в тормозных цилиндрах поезда (электропневматические тормоза прямодействующего типа).

При использовании таких тормозов локомотив оснащается дополнительным источником электрического питания, системой управления с контролем прохождения электрических сигналов по всей длине поезда, а все единицы подвижного состава — электрическими цепями с надежными контактами в сцепных устройствах (возможна и бесконтактная передача сигнала). При применении электропневматического тормоза прямодействующего типа все вагоны должны быть оборудованы электровоздухораспределителями. Наиболее сложной технической проблемой, возникающей при эксплуатации любого типа электропневматических тормозов на грузовых поездах, является обеспечение надежных электрических контактов между единицами подвижного состава. Практическое решение данной проблемы заключается только в оснащении

* Давление 1 кгс/см² практически соответствует 100 кПа в Международной системе единиц (СИ). В последующих разделах также используются некоторые внесистемные единицы измерения из-за их широкого распространения в отрасли и соответствующих нормативных документах.

вагонов и локомотивов автосцепкой с надежными, защищенными от загрязнений (как в сцепленном, так и в расцепленном состоянии) электрическими контактами.

Оснащение всего парка грузовых вагонов электропневматическими тормозами осложняется необходимостью введения продолжительного (около 10 лет) переходного периода. Установленное на вагоны в начале этого периода и длительное время неиспользуемое электропневматическое оборудование при необходимости его включения может оказаться в неработоспособном состоянии.

Контрольные вопросы

1. Какие устройства называются тормозами?
2. Каково назначение тормозов?
3. Какие способы применяются для торможения поезда?
4. За счет чего возможно сокращение тормозного пути при использовании колодочного тормоза?

Глава 2

ОСНОВЫ ТЕОРИИ ТОРМОЖЕНИЯ

2.1. Образование тормозной силы при фрикционном колодочном торможении

Рассмотрим принцип действия колодочного фрикционного тормоза.

При торможении колодочным тормозом (рис. 2.1) тормозная колодка прижимается к колесу с силой K_k . В результате механического и молекулярного взаимодействия вращающегося колеса и колодки возникает касательная сила трения колодки о колесо B_T , препятствующая вращению колеса, величина которой определяется из соотношения

$$B_T = K_k \varphi_k,$$

где φ_k — коэффициент трения колодки о колесо.

В точке контакта колеса с рельсом эта сила стремится сдвинуть рельс по направлению движения. Сила B_c реакции рельса в точке контакта равна этой силе по величине и противоположна по направлению. Эта внешняя в системе «колесо — рельс» сила и является тормозной силой, замедляющей движение поезда. Ее величина определяется из соотношения

$$B_c = \frac{\Psi_k q_0}{2},$$

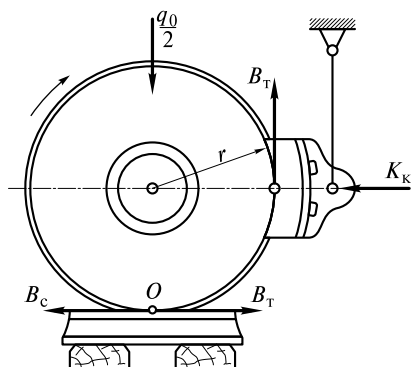


Рис. 2.1. Силы, действующие на колесо при торможении колодочным тормозом:

K_k — сила нажатия колодки на колесо;
 r — радиус колеса; B_T — касательная сила трения между колодкой и колесом; B_c — реакция рельса на действие силы трения;
 O — точка контакта колеса и рельса;
 $\frac{q_0}{2}$ — нагрузка от колеса на рельс

где ψ_k — коэффициент сцепления колеса с рельсом; q_0 — нагрузка от колесной пары на рельс.

Сила, возникающая в точке контакта колеса с рельсом, является тормозной не только при колодочном, но и при фрикционном дисковом и динамическом способах торможения.

Фрикционные материалы, применяющиеся в тормозных устройствах железнодорожного подвижного состава, должны обладать свойствами, обеспечивающими независимость коэффициента трения от состояния и загрязненности трущихся поверхностей (наличия влаги, масла, льда и снега в зоне контакта колеса и колодки), продолжительности торможения (температуры трущихся поверхностей) и других факторов. К сожалению, такие материалы до настоящего времени не разработаны ни у нас в стране, ни за рубежом. Приработавшиеся к колесу колодки обеспечивают более высокий коэффициент трения за счет очистки трущихся поверхностей в зоне контакта колодки и колеса, большей площади контакта и меньших контактных напряжений.

Как теоретически доказал еще в 1878 г. Н. П. Петров, сила трения колодки о колесо никогда не должна быть больше силы сцепления колеса с рельсом, т. е. должно выполняться условие

$$K_{\kappa\phi_{\kappa}} \leq \frac{\psi_{\kappa} q_0}{2}. \quad (2.1)$$

В противном случае вращение колеса прекратится, сцепление его с рельсом будет сорвано и оно заскользит по рельсу. Такое скольжение колеса по рельсу (явление «юза») очень опасно, так как возникающая при этом тормозная сила в 2 раза меньше силы сцепления колеса с рельсом при качении. Как следствие происходит удлинение тормозного пути в ущерб, конечно, безопасности движения. Кроме того, при юзе происходит местный износ колеса в зоне контакта (появляются так называемые ползуны), что также представляет опасность для дальнейшего движения поезда после отпуска тормозов, так как удары колес с ползунами при вращении, особенно при низких температурах, способны разрушить рельсы. Сила удара зависит не только от глубины ползуна, но и от скорости движения и жесткости пути.

Значение коэффициента сцепления ψ_k при торможении, как показали специально проведенные эксперименты у нас в стране и за рубежом, колеблется в значительных пределах — от 0,04 до 0,30 и зависит не только от конструкции и технического состояния подвижного состава и тормозного оборудования, но и от скорости движения, нагрузки на ось вагона, состояния рельсов и кругов катания колеса, загрязненности поверхностей различными нефтепродуктами, пылью (особенно торфяной), наличия на поверхности рельса и колеса влаги, а также особенно в самом

начале дождя, когда рельсы еще полностью не смочены (не промыты), росы, снега, льда, измороси. Подача песка под колеса при торможении значительно увеличивает коэффициент сцепления.

Наиболее полное использование тормозной силы наступает при равенстве правой и левой частей условия (2.1). Рассмотрим предельный случай, когда условие (2.1) имеет вид равенства

$$K_{\kappa} \varphi_{\kappa} = \frac{\Psi_{\kappa} q_0}{2}. \quad (2.2)$$

В условиях эксплуатации полное использование тормозной силы происходит только при необходимости предотвращения наезда на препятствие, для чего выполняется экстренное торможение. Обычно для регулирования скорости движения поезда при выполнении ограничений по скорости и для остановок на станциях по расписанию, когда место остановки заранее известно, машинисты используют тормозную силу частично, выполняя регулировочное или служебное торможение. То есть в эксплуатации для исключения юза, как правило, условие (2.1) имеет вид строгого неравенства

$$K_{\kappa} \varphi_{\kappa} < \frac{\Psi_{\kappa} q_0}{2}.$$

Тогда при частичном использовании максимально возможной тормозной силы реализуемая тормозная сила

$$B_{\tau} = K_{\kappa} \varphi_{\kappa},$$

зависит от силы нажатия тормозной колодки на колесо (диск) и коэффициента трения. В процессе движения поезда машинист практически не может регулировать ни коэффициент трения колодки о колесо, ни коэффициент сцепления между колесом и рельсом (за исключением подсыпки песка под колеса).

Остается одна возможность для регулирования тормозной силы — изменять силу нажатия тормозной колодки K_{κ} . По какому же закону должна изменяться сила нажатия тормозной колодки на колесо?

Преобразуем выражение (2.2) к следующему виду:

$$K_{\kappa} = \frac{\Psi_{\kappa} q_0}{\varphi_{\kappa}} = \delta \frac{q_0}{2}.$$

Зная осевую нагрузку вагона q_0 и коэффициент нажатия тормозных колодок δ , можно рассчитать силу нажатия тормозных колодок на ось $K_{\kappa 0}$:

$$K_{\kappa 0} = K_{\kappa} n,$$

где n — число колодок, действующих на одну ось.

Осевая нагрузка вагона, как правило, известна и в процессе движения остается практически постоянной, если не считать ее изменения из-за вертикальных колебаний вагона в процессе движения и незначительной разгрузки задних осей вагона (тележки) при торможении из-за сил инерции и расположения центра тяжести вагона выше головки рельса. (При проектировании тормозного оборудования вагона конструкторы должны учитывать и эти колебания во избежание появления юза при экстренном торможении, на которое тормоза и рассчитываются.)

Однако в процессе эксплуатации нагрузка вагонов (и их вес брутто) меняется. Если у пассажирских вагонов она меняется незначительно, то у вагонов пригородных поездов и метрополитена, а особенно у грузовых вагонов, она может меняться в широких пределах. Поэтому для получения одинаковых тормозных путей возникает необходимость менять нажатие тормозных колодок в зависимости от загрузки (веса нетто) вагона, т.е. осуществлять так называемое *весовое регулирование*.

В грузовых вагонах изменение силы нажатия на колодку осуществляется изменением давления в тормозном цилиндре $p_{т.ц}$. Грузовые воздухораспределители, как правило, имеют три режима изменения давления в тормозных цилиндрах:

груженный, при котором $p_{т.ц} = 3,9 \dots 4,5$ кгс/см²;

средний — $p_{т.ц} = 2,7 \dots 3,3$ кгс/см²;

порожний — $p_{т.ц} = 1,4 \dots 1,8$ кгс/см².

Для более плавного изменения давления в тормозных цилиндрах в зависимости от изменяющейся нагрузки на ось применяют дополнительные устройства — *грузовые авторежимы*. Аналогичные устройства применяют в вагонах пригородных поездов и поездов метрополитена.

Кроме того, существует необходимость изменять величину тормозной силы в зависимости от соотношения коэффициентов сцепления и трения, выражаемого коэффициентом нажатия тормозных колодок δ , величина которого зависит от скорости, т.е. применять так называемое *скоростное регулирование*. Как показывают многочисленные опыты по определению коэффициентов трения колодки о колесо и коэффициента сцепления колеса с рельсом при торможении, величина δ растет с увеличением скорости движения. Проблему зависимости величины δ от скорости можно решать двумя способами.

Первый (собственно скоростное регулирование) заключается в том, что можно уменьшать силу нажатия колодок при снижении скорости движения, однако это сложно делать в процессе движения поезда. В современных условиях на высокоскоростных поездах и локомотивах применяются специальные регуляторы, изменяющие силу нажатия тормозных колодок по мере изменения скорости непрерывно или ступенями. Однако, так как коэф-

коэффициенты трения и сцепления — случайные величины, зависящие от множества эксплуатационных факторов, для регулирования величины нажатия необходимы датчики частоты вращения каждой колесной пары, а сами регуляторы получаются довольно сложными по конструкции и требуют тщательного обслуживания высококвалифицированными специалистами.

Второй способ основан на применении таких материалов для тормозных колодок, изменение коэффициента δ которых незначительно. Этими качествами обладает большинство композиционных материалов для тормозных колодок, как отечественных, так и зарубежных.

2.2. Коэффициенты трения и сцепления

Как уже отмечалось прежде, коэффициент трения колодки о колесо зависит от множества факторов. При расчете тормозных сил, действующих на поезд, применяются формулы, учитывающие зависимость коэффициентов трения от материала колодки, действительного усилия нажатия колодки на колесо и от скорости движения.

При расчете тормозной силы с использованием действительной силы нажатия колодок $K_{к.д}$, тс, действительный коэффициент трения $\varphi_{к.д}$ колодки о колесо рекомендуется определять по следующим эмпирическим формулам:

для чугунных стандартных колодок

$$\varphi_{к.д} = 0,6 \left[\frac{16K_{к.д} + 100}{80K_{к.д} + 100} \right] \left[\frac{v + 100}{5v + 100} \right];$$

для колодок из чугуна, содержащего 1,0...1,4 % фосфора:

$$\varphi_{к.д} = 0,5 \left[\frac{16K_{к.д} + 100}{52K_{к.д} + 100} \right] \left[\frac{v + 100}{5v + 100} \right];$$

для колодок из композиционного материала

$$\varphi_{к.д} = 0,44 \left[\frac{K_{к.д} + 20}{4K_{к.д} + 20} \right] \left[\frac{v + 150}{2v + 150} \right],$$

где v — скорость движения, км/ч.

При плохих погодных условиях (обледенение, мокрый снег, повышенная влажность, дождь) коэффициент трения резко падает, что подтверждается экспериментальными исследованиями (рис. 2.2).

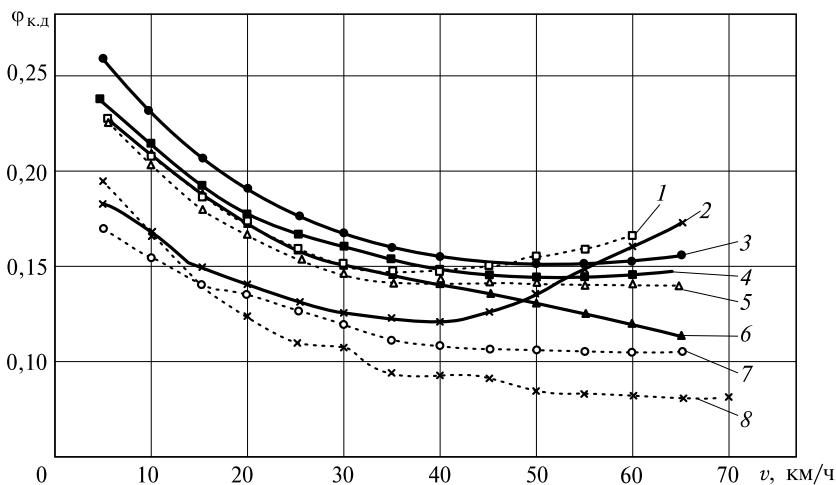


Рис. 2.2. Зависимость коэффициента трения $\varphi_{к.д}$ вагонных тормозных колодок из новых материалов от скорости для силы нажатия на колодку $K_{к.д} = 1,356$ тс при испытаниях всухую и с водой:

1 — ФРИТЕКС-960ВС с водой; 2 — ТИИР-303 всухую; 3 — ФРИТЕКС-950 всухую; 4 — ФРИТЕКС-960ВС всухую; 5 — ФРИТЕКС-950ВС с водой; 6 — ФРИТЕКС-950ВС всухую; 7 — ФРИТЕКС-950 с водой

В настоящее время проводятся работы по проектированию и испытанию тормозных устройств с использованием новых металлокерамических материалов для тормозных колодок, как для дисковых, так и для колодочных тормозов. Положительными качествами этих колодок являются незначительное изменение коэффициента трения в зависимости от скорости и от температуры в зоне контакта до 450°C ; практическая независимость его от погодных условий; высокая износостойкость (в 5—10 раз выше, чем у чугунных колодок, и в 2—3 раза выше, чем у композиционных).

Сила сцепления колеса с рельсом $[(q_0/2)\psi_k]$ является основной величиной, определяющей работу широко распространенного в мировой практике фрикционного тормоза (колодочного и дискового), обеспечивающего безопасность движения подвижного состава. Величина расчетного коэффициента сцепления ψ_k является исходной при решении большинства тормозных задач, поэтому ее необходимо определять на основе специальных исследований в реальных эксплуатационных условиях. Эта величина определяется на основе полученных экспериментально предельных значений коэффициента сцепления с учетом технических, экономических и климатических эксплуатационных условий. Полученные данные используются в дальнейшем в теории и практике решения тор-

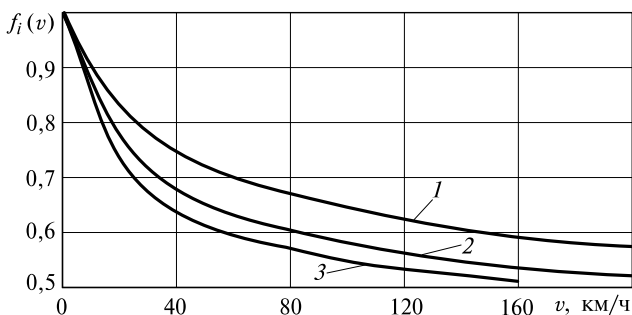


Рис. 2.3. Значения функций $f_i(v)$ для определения расчетного коэффициента сцепления колес с рельсами:

1 — пассажирские вагоны; 2 — локомотивы; 3 — грузовые вагоны

мозных задач для обеспечения безопасности движения поездов в эксплуатации, а также при конструировании нового подвижного состава.

По данным исследований и экспериментов на отечественных железных дорогах, расчетный коэффициент сцепления ψ_k при решении задач торможения рассчитывается в зависимости от типа подвижного состава, скорости и осевой нагрузки по формуле

$$\psi_k = f_i(v)f(q_0),$$

где $f_i(v)$ выражает влияние на коэффициент сцепления скорости движения для различного подвижного состава, обозначаемого индексом i , а $f(q_0)$ — его зависимость от осевой нагрузки (рис. 2.3).

Таблица 2.1

Нормативные значения расчетного коэффициента сцепления ψ_k

Тип вагона	Скорость, км/ч	ψ_k при нагрузке от колесной пары на рельс, тс				
		6	10	15	20	22
Грузовой	20	0,131	0,126	0,121	0,116	0,113
	100	0,097	0,094	0,09	0,086	0,084
	120	0,093	0,09	0,085	0,082	0,08
Пассажирский	40	—	0,138	0,13	0,124	0,112
	120	—	0,107	0,102	0,097	0,09
	140	—	0,102	0,098	0,094	0,088
	160	—	0,097	0,094	0,09	0,082
	200	—	0,092	0,087	0,08	0,076