

Лекция №1. Введение. Классификация тормозов и образование тормозной силы.

1. Введение.

Дисциплина «Организация обеспечения безопасности движения и автоматические тормоза подвижного состава» изучается обучающимися всех специализаций специальности 23.05.03 «Подвижной состав железных дорог». Данная дисциплина относится к базовым дисциплинам, определяющим качество подготовки будущего специалиста и его способность решать стоящие перед ним профессиональные задачи. В ходе изучения данной дисциплины ставятся следующие цели:

- изучить устройство, принцип действия и основные характеристики тормозных приборов;
- познакомиться с основами ремонта и испытания тормозного оборудования подвижного состава;
- получить сведения об основных неисправностях тормозного оборудования, способах их обнаружения и влиянии на обеспечение безопасности движения поездов;
- изучить основные методики расчета тормозов и нормативы по обеспечению поездов тормозами, а также значение их в обеспечении безопасности движения и увеличении пропускной и провозной способности железных дорог.

Прежде чем приступить к изучению автоматических тормозов подвижного состава нужно определиться с их назначением, т.е. ответить на вопрос «Зачем же нужны тормоза?» Из механики известно, что если к поезду не прикладывать тяговое усилие, то он со временем остановится за счет действия сил сопротивления движению, таких как трение-качения, сопротивление воздушной среды и т.п. Однако, в процессе разгона поезда он накапливает значительную кинетическую энергию, работа же сил естественного сопротивления движению достаточно невелика. Например, поезд массой 3500 т. с начальной скорости 70 км/час на площадке пройдет по инерции путь порядка 13 км и затратит на остановку более 20 минут. Кроме того, место остановки выбирается случайно и без создания специальных замедляющих сил не может быть изменено. К тому же на остановку поезда будет затрачено значительное время. Поэтому возникает задача создания искусственных сил, замедляющих скорость движения поезда – создающих дополнительное сопротивление движению.

Для того, чтобы понять что из себя представляют тормоза и чем тормозные силы отличаются от иных сил действующих на поезд дадим следующие определения:

Тормозными устройствами (тормозами) называются устройства, предназначенные для создания искусственных сил сопротивления движению поезда.

Тормозными силами называются силы, создающие искусственное управляемое сопротивление движению. В этом и заключается основное отличие тормозных сил от сил сопротивления движению – силы сопротивления движению поезда неуправляемы, т.е. машинист не может их изменить в процессе движения поезда.

2. Классификация тормозов подвижного состава.

Как известно из механики, изменить скорость движения любого тела, возможно только при помощи внешних относительно него сил. Это утверждение полностью относится и к поезду, т.е. остановить поезд или вообще замедлить его ход, можно только с помощью сил внешних относительно поезда, т.е. таких сил, которые возникают, когда частицы тел, не принадлежащих поезду, действуют на частицы, входящие в состав поезда.

Из числа тел не входящих в состав поезда только воздушная среда и рельсы имеют точки соприкосновения с поездом; значит только действие этих двух тел на поезд, может замедлить или совершенно остановить его движение.

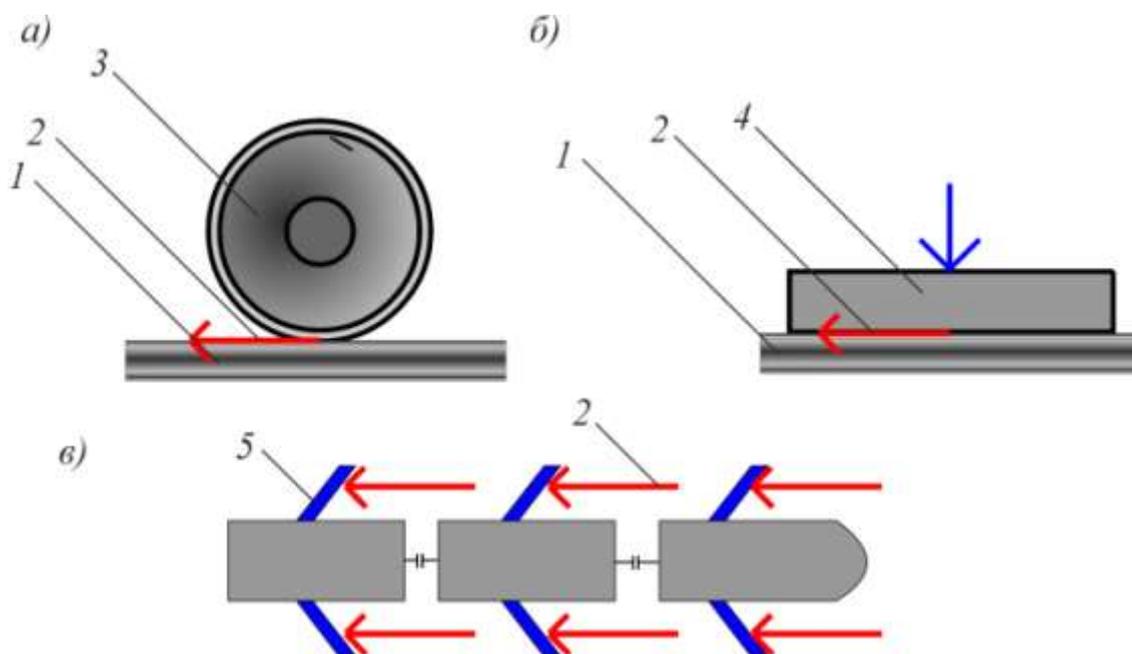


Рисунок 1. Возможные места образования внешних тормозных сил:
 а) – контакт колеса и рельса; б) – контакт специального тормозного башмака и рельса; в) – контакт подвижного состава и воздушной среды; 1 – рельс; 2 – внешняя тормозная сила; 3 – колесо; 4 – тормозной башмак; 5 – выдвижная часть подвижного состава.

Следовательно, силы, останавливающие поезд, с точки зрения места их приложения могут быть созданы только в точках контакта колеса и рельса, в специально создаваемом месте контакта подвижного состава с рельсом (например, магниторельсовый тормоз), в месте специального увеличения сопротивления воздушной среде. Возможные места создания тормозных сил показаны на рисунке 1. Кажется, что данное утверждение прямо противоречит ежедневно наблюдаемому факту, так как известно, что тормозные устройства внутри поезда его останавливают. Действительно тормозные устройства поезда производят его остановку, но не сами по себе, а через взаимодействие с внешней средой. Действие их состоит в том, что они возбуждают те внешние силы сцепления или трения между колесами и рельсами, которые уже замедляют движение и производят остановку.

Прежде всего, определимся способами создания тормозных сил в поезде, их можно разделить на две части, первая часть предполагает возникновение внешней тормозной силы в зоне контакта колеса и рельса, вторая нет.

Тормозные силы в зоне контакта колеса и рельса могут быть созданы следующими способами:

- реверсированием двигателей;
- переводом двигателей в генераторный режим;
- фрикционным торможением.

Под реверсированием двигателей понимается переключение двигателей на «задний ход» (применение «контр-тока»), а также применение «контр-пара» на паровозах, переключение работы винта «на задний ход» на водных судах, реверсирование двигателей на самолетах при посадке и т.п. Применение «контр-тока» на локомотивах с электрическим приводом опасно с технической точки зрения (возникновение больших токов в электрических цепях локомотива; большие сжимающие усилия в поезде, что может привести к выдавливанию отдельных вагонов; необходимость в усложнении цепей управления локомотива и т.п.) и при больших массах поездов не дает должного эффекта.

При переводе тяговых электродвигателей в генераторный режим возможно реостатное (на тепловозах, электровозах и мотор-вагонном подвижном составе) и

рекуперативное торможение (на электровозах и мотор-вагонном подвижном составе). Аналогами данного торможения является торможение двигателем на автомобиле; гидродинамическое торможение гидропередачи. Этот вид тормоза также требует усложнения схемы управления локомотивом (а при рекуперативном и в системе энергоснабжения), умелого использования этого вида торможения, так как в этом случае тормозные усилия сосредоточены исключительно на тяговом подвижном составе, что может приводить к большим сжимающим усилиям в поезде, кроме того, тормозная сила электрического тормоза уменьшается по мере снижения скорости и нулевая скорость соответствует нулевому тормозному усилию. Однако при умелом использовании данный вид тормоза может быть достаточно эффективным. Принципиальные схемы реостатного и рекуперативного тормоза показаны на рисунке 2.

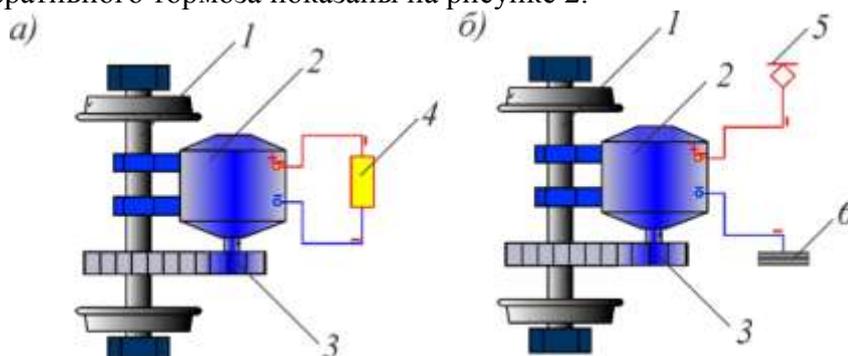


Рисунок 2. Электрическое торможение:

а) – схема реостатного торможения; *б)* – схема рекуперативного торможения; *1* – колесная пара; *2* – тяговый двигатель; *3* – осевой редуктор; *4* – тормозной резистор; *5* – контактная сеть; *6* – рельс.

Основной недостаток применения фрикционных тормозов (колодочных и дисковых) это зависимость коэффициента трения от скорости движения и нажатия на колодку. Кроме того, сила трения колодки о колесо или диск не должна превышать силу сцепления колеса с рельсом. Однако до настоящего времени фрикционный тормоз является основным для применения на железнодорожном подвижном составе. Возможные варианты фрикционного тормоза показаны на рисунке 3.

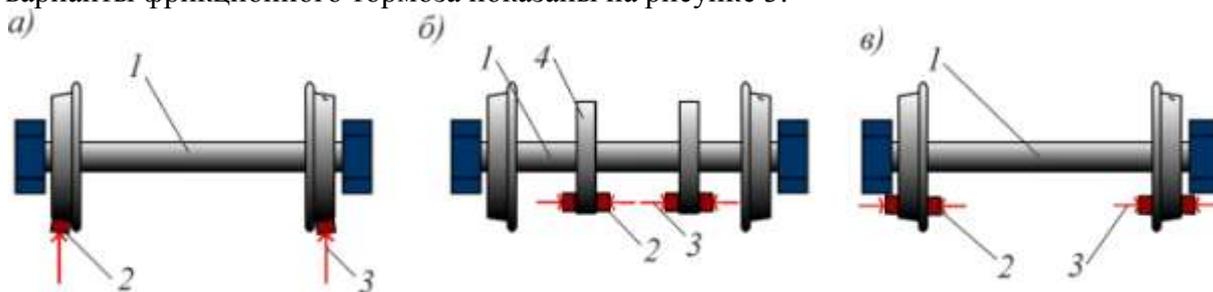


Рисунок 3. Возможные варианты применения фрикционного тормоза:

а) – колодочный тормоз; *б)* – дисковый тормоз со специальными тормозными дисками; *в)* – дисковый тормоз со специальными накладками на колесных центрах; *1* – колесная пара; *2* – тормозная колодка (накладка); *3* – место приложения внутренней силы; *4* – специальный тормозной диск.

Вне зоны контакта колеса и рельса тормозные силы могут быть созданы следующими способами:

- применением магниторельсового тормоза;
- применением вихретокового тормоза;
- искусственного увеличения сопротивления воздушной среды.

При применении магниторельсового тормоза специальный тормозной башмак прижимается к рельсу за счет магнитных сил, создаваемых за счет протекания по катушке электрического тока, а тормозная сила создается за счет трения его колодок о рельс. Принципиальная схема магниторельсового тормоза показана на рисунке 4. Для безопасной работы магниторельсового тормоза требуется отличное содержание пути (рельсов), особенно на стыках и на стрелочных переводах. Его основное достоинство заключается в том, что тормозная сила не зависит от силы сцепления колес с рельсами и не изнашивает поверхность качения колеса.

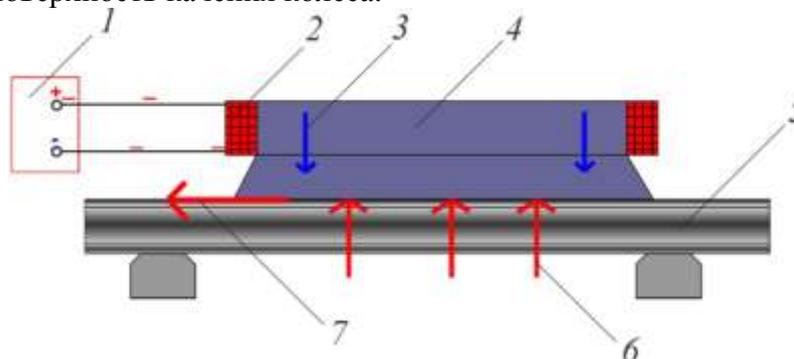


Рисунок 4. Принципиальная схема магниторельсового тормоза:

1 – источник питания; 2 – катушка; 3 – линия магнитного поля; 4 – тормозной башмак; 5 – рельс; 6 – сила прижатия рельса к тормозному башмаку; 7 – тормозная сила.

При вихретоковом тормозе электромагнитный башмак взаимодействует или с колесным центром, или с рельсом. Его основной недостаток тот, что тормозная сила в большой степени зависит от зазора между магнитной катушкой и колесным центром (рельсом), кроме того, для питания электромагнита необходим дополнительный источник энергии на вагоне.

Искусственное увеличение воздушного сопротивления движению возможно путем создания дополнительной турбулентности потока воздуха, обтекающего движущийся объект. Это возможно за счет изменения формы тела и увеличения его поперечного сечения (устройство закрылков на самолете, применение специального тормозного парашюта). Японскими железными дорогами ведутся опыты с аэродинамическим торможением, которое обеспечит при скорости 360 км/ч более короткий тормозной путь, чем сейчас установлен для скорости 275 км/ч. Для этого на крыше головного и хвостового вагонов размещены аэродинамические системы, выполненные в виде лопастей – «ушей», применяемых при экстренном торможении.

По способу приведения в действие существующие тормоза подвижного состава подразделяются на пять типов:

- стояночные (ручные);
- пневматические;
- электропневматические;
- электрические;
- электромагнитные.

Примерная классификация приведена на рисунке 5.

Стояночные, пневматические и электропневматические тормоза по способу создания тормозных сил относятся к разряду фрикционных тормозов, у которых сила трения создается непосредственно на поверхности катания колеса прижатием к нему специальной тормозной колодки, или на специальных тормозных дисках, жестко связанных с колесными парами.



Рисунок 5. Примерная классификация тормозов подвижного состава.

Стояночными тормозами оборудованы пассажирские и грузовые вагоны, локомотивы и электро- и дизель-поезда. Данный вид тормозов предназначен для удержания остановленного поезда на перегоне или на станции. Действие стояночных тормозов заключается в том, что путем поворота рукоятки ручного тормоза при помощи специального механизма и системы рычагов и тяг, тормозные колодки прижимаются к колесным парам. В автоматическом стояночном тормозе это же происходит благодаря сжатому воздуху.

Пневматическими тормозами оснащен весь подвижной состав железных дорог с использованием давления сжатого воздуха до 9 кгс/см^2 на локомотивах и до $5-6,5 \text{ кгс/см}^2$ на вагонах. Отличие пневматических тормозов от стояночных заключается в том, что колодки или тормозные диски прижимаются к колесным парам под действием давления сжатого воздуха, изменением величины которого и осуществляется управление тормозами.

Пневматические тормоза по своим свойствам подразделяются на автоматические и неавтоматические, а также на прямодействующие и непрямодействующие.

Прямодействующим называется такой вид тормоза, в котором утечки из тормозного цилиндра в процессе торможения и перекрыши питаются непосредственно от источника сжатого воздуха (компрессора).

Непрямодействующим называется такой вид тормоза, в котором утечки из тормозного цилиндра в процессе торможения и перекрыши не питаются от источника сжатого воздуха. Другими словами данный вид тормоза называется истощимым.

Неавтоматическими называются такие тормоза, в которых при разрыве тормозной магистрали происходит отпуск. Неавтоматические тормоза выполняют торможение при повышении давления в магистрали, а при его снижении производят отпуск тормозов. Схема прямодействующего неавтоматического тормоза приведена на рисунке 6.

Данный вид тормоза применяется в качестве вспомогательного тормоза локомотива.

Воздух нагнетается компрессором 1 в главный резервуар 2, откуда по питательной магистрали 3 поступает к крану машиниста 4. В зависимости от положения ручки крана происходят следующие процессы:

торможение — питательная магистраль 3 сообщается с тормозной магистралью 5 (называемой часто просто магистралью), и воздух поступает в тормозные цилиндры 6, вследствие чего тормозные колодки 7 прижимаются к колесу;

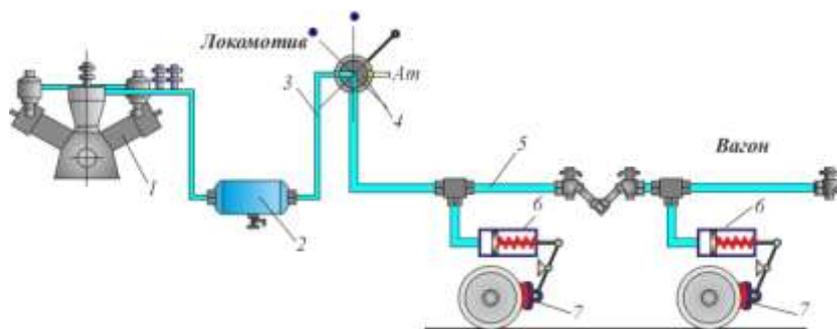


Рисунок 6. Принципиальная схема неавтоматического прямодействующего тормоза: 1 – компрессор; 2 – главный резервуар; 3 – питательная магистраль; 4 – кран; 5 – тормозная магистраль; 6 – тормозной цилиндр; 7 – тормозная колодка.

перекрыша — тормозная магистраль 5 разобщается с питательной магистралью 3, при этом давление воздуха в тормозных цилиндрах 6 остается без изменения, и как следствие не изменяется сила прижатия колодок к колесу 7;

отпуск — магистраль 5 и тормозные цилиндры 6 сообщаются с атмосферой через кран 3, вследствие чего происходит выпуск воздуха из тормозных цилиндров, а тормозные колодки 7 отходят от колеса.

Показанный на рисунке тормоз является прямодействующим, так как при торможении сжатый воздух из главного резервуара через кран и тормозную магистраль поступает непосредственно в тормозные цилиндры. В случае разрыва магистрали он не приходит в действие и выпускает весь воздух в атмосферу, если до разрыва был заторможен, поэтому является неавтоматическим.

Автоматическими называются такие тормоза, в которых при обрыве тормозной сети поезда или открытии стоп-крана любого вагона происходит торможение. Автоматические тормоза срабатывают на торможение вследствие снижения давления в тормозной магистрали, а при повышении давления в магистрали производят отпуск тормозов.

В автоматических тормозах различают 4 основных тормозных процесса:

зарядка — воздухопровод (магистраль) и запасные резервуары под каждой единицей подвижного состава заполняются сжатым воздухом;

торможение — производится снижение давления воздуха в магистрали вагона или всего поезда для приведения в действие воздухораспределителей, и воздух из запасных резервуаров поступает в тормозные цилиндры; последние приводят в действие рычажную тормозную передачу, которая прижимает колодки к колесам;

перекрыша - давление воздуха в тормозной магистрали поддерживается постоянным, но при этом пониженным после торможения. В этом состоянии воздухораспределители поддерживают ранее установленное в тормозных цилиндрах давление, колодки будут прижаты с прежним усилием.

отпуск — давление в магистрали повышается, вследствие чего воздухораспределители выпускают воздух из тормозных цилиндров в атмосферу, одновременно производят подзарядку запасных резервуаров, сообщая их с тормозной магистралью.

Отличие тормоза этого типа, от неавтоматического состоит в том, что на каждой единице подвижного состава между тормозной магистралью и тормозным цилиндром установлен прибор, называемый воздухораспределителем, и запасный резервуар. На рисунке 7 показана принципиальная схема автоматического непрямодействующего тормоза.

По похожей схеме оборудованы все существующие вагоны, электро- и дизель-поезда. Компрессор, главный резервуар и кран машиниста устанавливаются на локомотиве.

Перед отправлением поезда тормоз заряжают, для чего ручку крана машиниста ставят в отпускное положение, при котором воздух из главного резервуара по питательной магистрали через кран машиниста поступает в тормозную магистраль и далее через воздухораспределители — в запасные резервуары. При этом тормозные цилиндры через воздухораспределители сообщены с атмосферой.

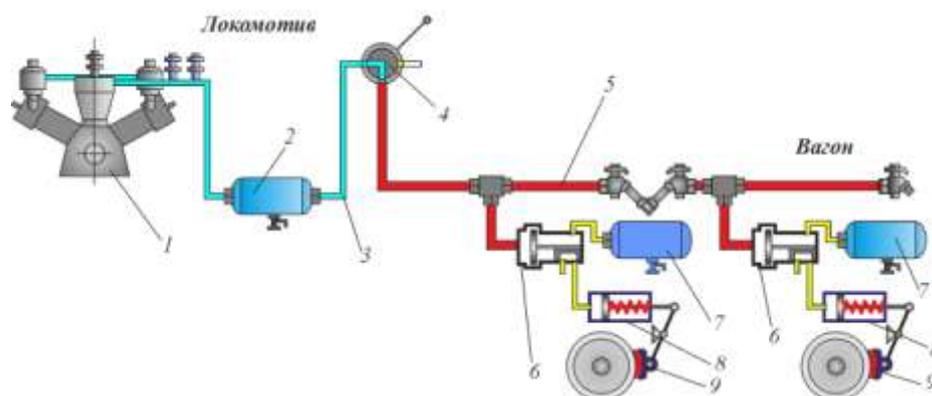


Рисунок 7. Схема непрямого автоматического тормоза:

1 – компрессор; 2 – главный резервуар; 3 – питательная магистраль; 4 – кран; 5 – тормозная магистраль; 6 – воздухораспределитель; 7 – запасный резервуар; 8 – тормозной цилиндр; 9 – тормозная колодка.

Для торможения поезда ручку крана машиниста 4 переводят в тормозное положение, при котором питательная магистраль 3 разобщается с тормозной магистралью 5, которая в свою очередь через кран машиниста 4 сообщается с атмосферой. При понижении давления в магистрали воздухораспределители 6 приходят в действие, разобщая тормозные цилиндры 8 с атмосферой и сообщая их с запасными резервуарами 7, наполненным сжатым воздухом. Под действием сжатого воздуха поршень тормозного цилиндра перемещается и при помощи системы тяг и рычагов прижимает тормозные колодки 9 к колесам.

Для перехода в режим перекрыши ручку крана машиниста 4 переводят в положение перекрыши (с питанием или без). При этом положении ручки крана давление в тормозной магистрали 5 со стороны крана машиниста не изменяется. Тормозные цилиндры 8 разобщены и от атмосферы и от запасных резервуаров 7, следовательно, давление в них неизменно.

Для отпуска тормоза ручку крана машиниста 4 ставят в отпускное положение. При этом питательная магистраль 3 сообщается с тормозной магистралью 5, вследствие чего давление в ней повышается и воздухораспределители 6 сообщают тормозные цилиндры 8 с атмосферой, а запасные резервуары 7 с тормозной магистралью 5, через которые осуществляется их подзарядка. В случае обрыва тормозной магистрали 5 тормоза автоматически приходят в действие, срабатывая на торможение, поэтому такой тормоз назван автоматическим.

Автоматические тормоза, могут выполнены прямыми и непрямыми. При этом принципиальная схема останется без изменений. Отличия кроются в конструкции используемых воздухораспределителей и положениях ручки крана машиниста. Вагоны пассажирского парка оборудованные воздухораспределителями усл. №292 обладают непрямым тормозом, так как данный тип воздухораспределителей не позволяет питать утечки из тормозных цилиндров. Вагоны грузового парка, оборудованные воздухораспределителями усл. №483 обладают прямыми тормозами, так как данный тип воздухораспределителя позволяет питать утечки из тормозного цилиндра.

Принципиальная схема прямодействующего автоматического тормоза приведена на рисунке 8.

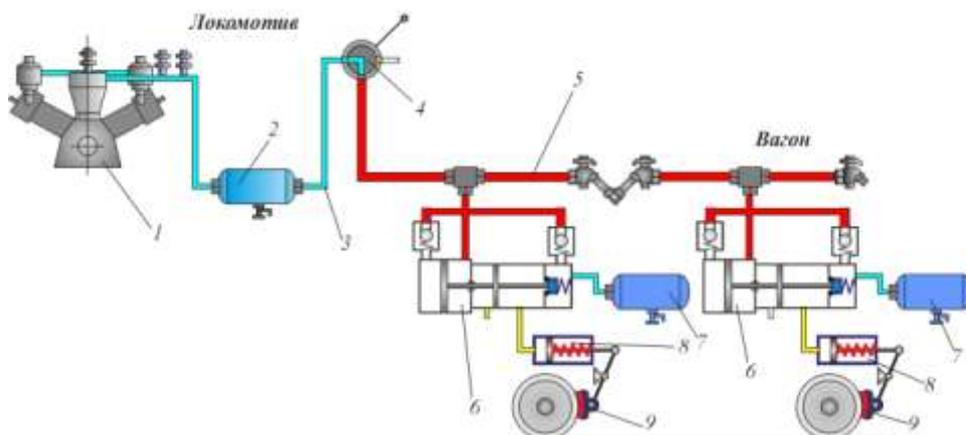


Рисунок 8. Схема прямодействующего автоматического тормоза:

1 – компрессор; 2 – главный резервуар; 3 – питательная магистраль; 4 – кран; 5 – тормозная магистраль; 6 – воздухораспределитель; 7 – запасный резервуар; 8 – тормозной цилиндр; 9 – тормозная колодка.

Электропневматическими тормозами оснащены пассажирские локомотивы и вагоны, электро- и дизель-поезда. При использовании электропневматического тормоза тормозные колодки или диски прижимаются к колесным парам под действием давления сжатого воздуха, однако в отличие от пневматических тормозов управление работой тормозов осуществляется при помощи сигналов электрического тока.

Можно дать следующее определение: электропневматическими называются пневматические тормоза, управляемые при помощи электрического тока.

Электропневматический тормоз прямодействующего типа с разрядкой и без разрядки тормозной магистрали, показанный на рисунке 1.9 применяется в пассажирских поездах, а также на электро- и дизель-поездах. На рисунке показан только один комплект приборов торможения (воздухораспределитель, запасный резервуар, тормозной цилиндр, переключательный клапан, катушки и якоря электровоздухораспределителя), однако, он имеется на каждой единице подвижного состава. Кран машиниста и главный резервуар устанавливаются только на локомотиве или в кабине электро- или дизель-поезда.

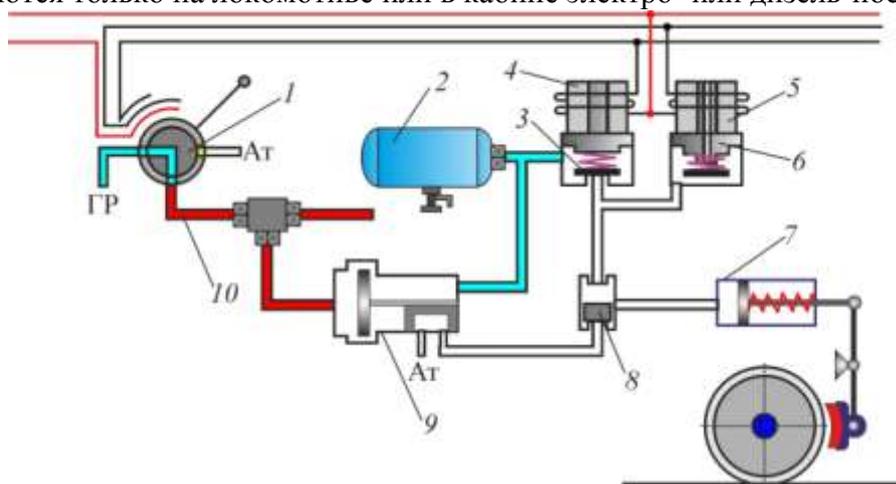


Рисунок 9. Принципиальная схема электропневматического тормоза.

ГР – главные резервуары; Ат – атмосфера; 1 – кран машиниста; 2 – запасный резервуар; 3 – якорь тормозного вентиля; 4 – катушка тормозного вентиля; 5 – катушка отпускного вентиля; 6 – якорь отпускного вентиля; 7 – тормозной цилиндр; 8 – переключательный клапан; 9 – воздухораспределитель; 10 – тормозная магистраль.

В электропневматическом тормозе наполнение цилиндров при торможении и выпуск воздуха из них при отпуске могут осуществляться независимо от изменения давления в магистрали.

Зарядка запасного резервуара 2 происходит из главных резервуаров ГР через кран машиниста 1 по тормозной через воздухораспределитель 9, как и в случае автоматического пневматического тормоза без электрического управления.

При торможении электрический контроллер крана машиниста 1 замыкает соответствующие контакты, и электрический ток воздействует на электромагнитные катушки 4 и 5 вентилей электровоздухораспределителей. Катушка отпускного вентиля 5 притягивает свой якорь 6, тем самым прекращая сообщения тормозного цилиндра 7 с атмосферой. Катушка тормозного вентиля 4 притягивает свой якорь 3, тем самым соединяя запасный резервуар 2 через переключательный клапан 8 с тормозным цилиндром 7. Давление в тормозном цилиндре 7 увеличивается. При этом давление в тормозной магистрали 10 может как понижаться, так и оставаться постоянным.

При отпуске тормоза в электрическом контроллере крана машиниста размыкаются контакты, электрические провода обесточиваются, катушки 4 и 5 электровоздухораспределителей теряют питание. При этом якорь 3 тормозного вентиля опустившись, разобщает запасный резервуар 2 с тормозным цилиндром 7, а якорь отпускного вентиля 6 опустившись, сообщает тормозной цилиндр 7 с атмосферой. Давление в тормозных цилиндрах уменьшается.

При нахождении крана машиниста 1 в положении перекрыши после ступени торможения, электрический контроллер крана обесточивает один из проводов, в результате чего в электровоздухораспределителе обесточивается катушка тормозного вентиля 4, при этом якорь тормозного вентиля 3 разобщает запасной резервуар 2 и тормозной цилиндр 7. Это приводит к тому, что давление в тормозном цилиндре 7 перестает возрастать. Так как при этом второй электрический провод остается под напряжением, то катушка отпускного вентиля 5 остается под питанием и ее якорь 6 закрывает сообщения тормозного цилиндра с атмосферой. При этом давление в тормозном цилиндре остается неизменным.

Переключательный клапан 8 сдвигается в сторону от наибольшего давления, т.е. сообщает тормозной цилиндр с воздухораспределителем 9 или электровоздухораспределителем в зависимости от того, какой из них пытается создать в тормозном цилиндре 7 большее давление. Например, если осуществляется торможение без разрядки магистрали, только электрическим током, то пневматический воздухораспределитель 2 в действие не приходит, а соответственно стремится сообщить тормозной цилиндр с атмосферой. При этом электровоздухораспределитель сработав, стремится направить в тормозной цилиндр 7 воздух из запасных резервуаров 2. Под действием давления воздуха из резервуаров клапан 8 перекроет сообщение тормозного цилиндра 7 с воздухораспределителем 2 и откроет сообщение воздуха с электровоздухораспределителем.

В противоположном направлении клапан 8 перемещается при обрыве поезда или потере целостности электрической цепи. Так как при обрыве поезда произойдет обрыв электрической цепи, то останутся без питания катушки 4 и 5 электровоздухораспределителя. Опустившись, якоря 3 и 6 электровоздухораспределителя попытаются соединить тормозной цилиндр 7 с атмосферой. Пневматический воздухораспределитель, наоборот, при понижении давления в тормозной магистрали 10 из-за обрыва, сработает на торможение и попытается сообщить тормозной цилиндр 7 с запасным резервуаром 2. Под действием давления от воздухораспределителя 2 переключательный клапан 8 сообщит его с тормозным цилиндром. При этом электровоздухораспределитель с тормозным цилиндром будет разобщаться.

Если учитывать только электрическое управление, то данный вид тормоза можно считать неавтоматическим, т.е. при обрыве электрических проводов тормоз не сработает на торможение, а если поезд был заторможен без разрядки тормозной магистрали, то произойдет отпуск тормоза. Автоматичность электропневматического тормоза обеспечивается за счет наличия пневматического воздухораспределителя.

Подобный подход вызван тем, что в отличие от неисправностей пневматической части (разъединение рукавов и т.п.) локализовать и устранить неисправность электрической части проложенной по всему поезду довольно сложно. Следовательно, поезд, где произойдет неисправность электрической части, будет должен долгое время оставаться в заторможенном состоянии на перегоне, что недопустимо с точки зрения ритмичности работы железной дороги. Поэтому была создана конструкция, в которой основной сигнал управления осуществляется при помощи электрического тока, а на случай неисправности электрических цепей имеется резервный автоматический пневматический тормоз.

Электропневматический тормоз автоматического типа с питательной и тормозной магистралями и с разрядкой тормозной магистрали при торможении применяется на некоторых дорогах Западной Европы и США. В этих тормозах торможение осуществляется путем разрядки тормозной магистрали каждого вагона через электрические вентили в атмосферу, а отпуск — сообщением ее через другие электрические вентили с дополнительной питательной магистралью. Процессами наполнения и опорожнения тормозного цилиндра управляет обычный воздухораспределитель, как и при автоматическом пневматическом тормозе.

Электромагнитные тормоза подразделяются на фрикционные магниторельсовые и вихретоковые.

Действие магниторельсового тормоза было описано ранее (см. рисунок 4). Магниторельсовым тормозом был в свое время оборудован скоростной электропоезд ЭР200. На сегодняшний день магниторельсовым тормозом оборудованы вагоны трамвайного парка.

Кроме того, по своему назначению автоматические тормоза подразделяются на грузовые пассажирские и скоростные. Разделение осуществляется в основном по времени наполнения и опорожнения тормозных цилиндров. Характеристика различных по назначению тормозов приведена в таблице №1.

Таблица №1. Классификация тормозов по назначению.

Тип тормоза	Время наполнения ТЦ, сек.	Время опорожнения ТЦ, сек.
Грузовые	20 ... 45	до 60
Пассажирские	6 ... 9	9 ... 12
Скоростные	1 ... 2	2 ... 3

3. Некоторые аспекты истории развития тормозов подвижного состава.

Первые тормоза подвижного состава приводились в действие вручную, однако, ручное торможение обладало рядом недостатков: тормозная сила зависела от усилия, которое «тормозильщик» мог реализовать в зависимости от своих физических возможностей; слишком велико было время от момента возникновения необходимости применить торможение (момента подачи машинистом сигнала на торможение) до момента полного приведения в действие тормозов всего поезда и до его остановки.

В 1847 г. были предложены автоматические непрерывные управляемые с одного места тормоза. Появились различные системы механического торможения, когда машинист одним движением приводил в действие тормоза всего поезда. Для этого надо было на стоянке поднимать на каждом вагоне специальные грузы и закреплять их в верхнем положении на защелках. В случае необходимости машинист освобождал трос, протянутый вдоль состава и этот трос, в свою очередь, освобождал защелки, крепящие

груз. Под действием силы тяжести грузы опускались вниз и через систему рычагов и тяг тормозные колодки прижимались к специальным дискам, укрепленным на колесных парах или к колесам. За счет прижатия колодок к колесам (дискам) создавалась сила трения и колесо, взаимодействуя с рельсом (за счет сцепления колеса с рельсом), создавало замедляющую силу. В случае обрыва поезда обрывался и трос, протянутый вдоль поезда. В этом случае тормоза срабатывали автоматически на торможение.

В 1869 году появились первые пневматические тормоза, в которых прижатие колодок осуществлялось сжатым воздухом, подаваемым в тормозные цилиндры из резервуаров, в которых воздух нагнетался насосами (компрессорами). В таких тормозах сила прижатия колодок уже не зависела от усилия человека.

С ростом веса, длины поезда и скорости движения на железных дорогах росли и расстояния, необходимые для остановки поездов, что потребовало усовершенствования тормозов. В России первые опыты с пневматическими тормозами относятся к 1872 году. Первоначально на ж.д. России для торможения пассажирских поездов применялись тормоза различных систем: Вестингауза, Вагнера, Гарди, Геберлейна и Сандерса. Под руководством профессора Н.П. Петрова было проведено сравнительное испытание тормозов различных систем и с 1882 г. началось широкое внедрение на железных дорогах тормоза Вестингауза. Были построены три тормозных завода: в Петербурге - фирмой «Вестингауза», Люберцах – фирмой «Нью-Йорк» и на станции Старожилово – С.-Петербургским обществом Истинских заводов. Одновременно была поставлена задача перевода грузовых поездов с ручного торможения на автоматическое. Однако эта задача не была решена до первой мировой войны.

Перед первой мировой войной в России было два небольших тормозных завода: в Петрограде фирмы «Вестингауз» и в Риге фирмы «ВЭК». Во время войны завод из Петрограда был эвакуирован в Ярославль, а завод из Риги был эвакуирован в Москву в 1915 году.

После окончания первой мировой войны перед железнодорожным транспортом были поставлены две задачи: в короткий срок освоить выпуск тормозных приборов, необходимых для восстановления работы железнодорожного транспорта, и создать новые современные отечественные тормозные приборы.

Машинист депо Челкар Ташкентской дороги Ф.П. Казанцев еще в 1909 г. изобрел неистощимый двухпроводный тормоз, который в 1910 г. блестяще выдержал испытания, однако, внедрен на транспорте не был. В 1923 г. Московский тормозной завод (МТЗ) выпустил тормоз системы Казанцева (типа Д) для пассажирских поездов, который выдержал испытания на Октябрьской ж.д.

В 1925 году партия тормозных приборов для грузовых поездов системы Казанцева, изготовленных МТЗ, прошла сравнительные испытания с тормозами Кунце – Кнорра (Германия) и показала неоспоримые преимущества. В 1927 г. Казанцев создал воздухораспределитель типа К, которым с 1929 г. оборудовались грузовые поезда. В конце 1929 г. были созданы воздухораспределители Казанцева (типа К-2), И.К. Матросова (М-320), Б.Л. Карвацкого (тип С), сравнительные испытания которых в 1930-1931 годах показали, что все они удовлетворяют предъявляемым требованиям, однако, тормоз Матросова М-320 показал наилучшие результаты и был принят типовым для грузовых поездов. Уже в 1935 году грузовые поезда в нашей стране были переведены на автоматическое торможение, что позволило увеличить массу и скорость движения поездов.

С 1953 г. МТЗ выпускал воздухораспределители усл. № МТЗ-135, а с 1959 г. – усл. № 270-002. В 1967 г. воздухораспределитель усл. № 270-005 принят для серийного производства, а с 1977 г. грузовой подвижной состав оснащается воздухораспределителями усл. № 483 со скоростью распространения тормозной волны при экстренном торможении до 280 м/с и обеспечивающими возможность вождения

грузовых поездов большой длины с массой до 10 тыс. т. и более (при использовании дистанционного управления тормозами).

С 1948 г. у нас в стране начали применяться электропневматические тормоза для моторвагонного подвижного состава, а с 1958 г. и для пассажирских поездов (воздухораспределители усл. № 170, 305-000 и 305-001).

С 1947 г. вагонный парк железных дорог нашей страны оснащается системой автоматического регулирования тормозной рычажной передачи. Вначале применялись регуляторы системы Алыбина (на пассажирских вагонах), а затем с 1958 г. – регуляторы кулисного типа усл. № 276. Выпуск этих регуляторов был прекращен в 1963 г. и вместо них стали выпускаться регуляторы усл. № 536, а с 1974 г. – усл. № 574Б. В 1964 г. на всех железных дорогах началось применение композиционных тормозных колодок.

В связи с электрификацией Закавказской железной дороги со сложным горным профилем с 1934 г. стало широко применяться электрическое рекуперативное торможение, в настоящее время оно распространено на всей сети железных дорог России при электровозной тяге и на моторвагонном подвижном составе (МВПС). При тепловозной тяге и на моторвагонном подвижном составе применяется также электрическое реостатное торможение.

Тормозостроение за рубежом развивается по двум направлениям: европейскому и американскому. На железных дорогах Европы, где вес и длина поездов небольшие, применяются медленнодействующие тормоза для грузовых поездов, которые переключаются с медленного действия на ускоренное в пассажирских поездах. После второй мировой войны разработаны новые высокочувствительные тормозные системы с приборами диафрагменно-клапанной конструкции, обеспечивающие скорость распространения волны срабатывания тормозов по поезду (тормозной волны) до 250...280 м/с. Широкое распространение в пассажирских и скоростных поездах получили тормозные системы с колодочными, дисковыми и магниторельсовыми тормозами и противоюзными устройствами.

В США применяют тормоза фирмы Вестингауз с воздухораспределителем, обеспечивающим в грузовых поездах большой длины, оборудованных автосцепкой, ускоренный отпуск. Для тормозов подвижного состава США характерна меньшая эффективность торможения и большая, чем в Европе и России длина тормозного пути. В 1945 году на железных дорогах США средний тормозной путь грузового поезда на площадке составлял около 1430 метров, в 1965 году из-за непрерывного увеличения веса и скорости движения поездов их тормозной путь увеличился до 3200 метров. Если бы конструкторы тормозного оборудования не приняли эффективных мер по созданию новых тормозных приборов, новых материалов тормозных колодок и некоторых других мер, то к 1975 году тормозной путь мог бы возрасти до 4900 метров.

В развитии тормозной техники наша страна занимает одно из ведущих мест в мире. Еще в 50-х годах XX века у нас весь подвижной состав был переведен на автоматическое торможение. Сочетание режимов бесступенчатого и ступенчатого отпуска, обеспечивающих наилучшую управляемость в тяжеловесных и длинносоставных поездах на равнинном профиле и практическую неистощимость действия тормозов на крутых затяжных спусках, имеются только на железных дорогах России. Отечественные тормоза обладают самой высокой работоспособностью в условиях низких температур до - 50... - 60°C.

Железные дороги России эксплуатируются в различных климатических условиях, в малонаселенных районах, что требует от тормозного оборудования высокой надежности и уменьшения ручного высококвалифицированного труда для его обслуживания и ремонта.

Переход на композиционные тормозные колодки, которые имеют значительно меньший износ, чем чугунные; применение автоматических регуляторов рычажной передачи (выхода штоков тормозных цилиндров), которые практически исключают необходимость трудоемких операций с большой затратой времени на регулировку

рычажной передачи при износе колодок и колес вагонов; применение грузовых авторежимов, регулирующих давление в тормозных цилиндрах в зависимости от загрузки вагонов; применение в воздухораспределителях вместо металлических притираемых деталей (золотников, колец, лабиринтовых уплотнений) современных резиновых уплотнителей, обеспечивающих высокий уровень технических свойств при минимальных затратах времени на ремонт и техническое обслуживание, которые предельно упрощены и заключаются практически в замене резиновых деталей, позволяют решать эти задачи.

Для высокоскоростных пассажирских поездов наряду с колодочным применяются магниторельсовые и дисковые тормоза с противоюзными устройствами, надежно защищающими колеса от повреждения на участках пути с низким сцеплением, а также устройства электрического (рекуперативного и реостатного) торможения на локомотивах и мотор-вагонном подвижном составе.

4. Основные направления развития тормозной техники.

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 нажатие тормозных колодок или применять композиционные колодки (накладки в дисковых тормозах), то есть применять материал трущейся пары (колесо-колодка, колодка – накладка на диске), который имеет мало зависящий от скорости коэффициент трения.

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.

Даже максимальное использование силы сцепления колес с рельсами при фрикционном тормозе позволяет получить на горизонтальном пути при скорости поезда 200 км/ч тормозной путь 1800...1900 метров, что не в полной мере удовлетворяет требованиям безопасности движения.

Сокращение длины тормозного пути при колодочном торможении возможно:

- за счет применения тормозных колодок с повышенным коэффициентом трения (но это, как было сказано выше, ограничивается силой сцепления колес с рельсами);
- увеличением скорости наполнения тормозных цилиндров (что ограничивается скоростью распространения тормозной волны по поезду и продольными усилиями в поезде);
- совершенствованием системы управления тормозами.

Наименьший диапазон эффективного действия имеет колодочное торможение. При этом ограничивающими факторами являются нагрев колодок и бандажей и внутренние напряжения в бандажах (колесных центрах при безбандажных колесах). Для скорости 200 км/ч колодочное торможение применимо при нагрузке на ось не более 60 кН (6 т/ось). Не следует забывать, однако, что колодочное торможение способствует улучшению условий сцепления.

Диапазон применимости дискового тормоза также ограничивается термоустойчивостью. Для служебного торможения допустима температура 250...300°C, а для редких экстренных остановочных торможений 400...500°C.

Электрическое торможение применимо в любом диапазоне скоростей и обеспечивает полное использование сцепления. При максимальной скорости длительный режим рассчитывается из условия создания тормозного усилия, равного сопротивлению движения поезда на подъеме 10%, а допустимая перегрузка – соответственно сопротивлению движению на подъеме 20%.

Магнитно-рельсовый тормоз с активной длиной башмака порядка 1300 мм, обеспечивает на высоких скоростях тормозное усилие до 3500 Н, причем практически независимо от коэффициента сцепления. Основной недостаток магнитно-рельсового тормоза – большой износ (максимум 200 торможений со скорости 250 км/ч). Поэтому его назначение – аварийное остановочное торможение.

В таблице №2 представлены результаты совместного испытания магнитно-рельсовых и пневматических колодочных тормозов с начальной скорости 120 км/ч.

Таблица №2. Сравнительная характеристика тормозов.

Вид тормоза	Тормозной путь		Среднее замедление	
	м	%	м/с ²	%
Магнитно-рельсовый с колодочным	345	61,6	1,62	162
Колодочный	560	100	1,0	100
Магнитно-рельсовый	700	125	0,8	80

При оборудовании подвижного состава магнитно-рельсовым тормозом вес современного вагона увеличивается примерно на 5%, также растет и стоимость вагона. Потребляемая мощность для питания магнитно-рельсового тормоза равна около 6 кВт на вагон.

Комбинированные системы торможения применяются с целью компенсации недостатков отдельных систем. Например, при электрическом приводе помимо электродинамического торможения используются обычные колодочные или дисковые тормоза для увеличения тормозного усилия при низких скоростях и магнитно-рельсовый или индукционный линейный тормоз в качестве аварийного, позволяющего поддерживать тормозное усилие выше ограничения по сцеплению.

Воздушный (аэродинамический) тормоз пока еще не вышел из стадии экспериментов, но при повышении скорости движения до 300..400 км/ч у него есть хорошая перспектива.

При установлении рациональных пределов максимальных скоростей движения на перспективу следует учитывать как возможности путевых устройств и требования пропускных способностей железных дорог, так и возможности тормозного оборудования, а также физиологические особенности организма человека и его способность воспринимать значительные перегрузки. Установлено, что максимальное замедление, еще не оказывающее неприятного воздействия на человека и не препятствующее нормальному передвижению по вагонам и нормальной работе вагона-ресторана, равно 1,5 м/с². Этот предел рекомендуется для экстренного торможения, а при эксплуатационном торможении величина замедления не должна превышать 1,2 м/с². При таком замедлении тормозной путь поезда с начальной скорости 200 км/ч составит примерно 1300 метров. Среднее замедление, реализуемое при торможении до остановки, составляет для грузовых поездов – 0,4 м/с², пассажирских – 0,7 м/с², а для экспрессов около 0,9 ... 1,3 м/с².

При рассмотрении вопроса об увеличении скоростей движения пассажирских поездов нельзя не учитывать необходимость соответствующего увеличения скоростей движения грузовых поездов, поскольку большая разница в скоростях движения различных категорий поездов, обращающихся на участке, снижает пропускную способность железнодорожной линии.

В связи с увеличением скорости движения грузовых поездов, их веса, длины и осевой нагрузки перед железнодорожниками остро встает проблема сокращения тормозных путей для повышения безопасности движения.

Исследования показывают, что при постоянной скорости тормозной путь увеличивается пропорционально весу поезда (загрузки вагона) при торможении со скоростей, позволяющих достичь полного давления в тормозных цилиндрах, поэтому

такие вагоны оборудуются грузовым авторежимом непрерывного типа, обеспечивающим регулирование нажатия тормозных колодок в соответствии с загрузкой вагона.

При неизменном весе поезда его тормозной путь от скорости начала торможения увеличивается пропорционально квадрату скорости.

С ростом массы и длины поезда в процессе торможения могут возникать повышенные продольные силы. Скорость снижения давления в тормозной магистрали уменьшается по мере удаления от крана машиниста в голове поезда, что приводит к неодновременности срабатывания тормозов, способствующей ухудшению продольной динамики.

Даже в поездах длиной 700 метров, оснащенных воздухораспределителями, отвечающими нормам МСЖД, время наполнения тормозного цилиндра хвостового вагона составляет 29 ... 30 с при полном служебном и 22 ... 23 с при экстренном торможении. Это же время составляет соответственно 45 и 28 с в поезде длиной 1000 м, 55 и 38 с в поезде длиной 1200 м, тогда как тормозные цилиндры в голове поезда наполняются всего за 6 ... 8 с. Однако сокращение времени наполнения тормозных цилиндров приводит к увеличению продольных сил в поезде.

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

Возможны различные способы достижения оптимальных характеристик тормозов.

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

Однако, ускорители не решают задачи повышения допустимой скорости движения, так как остановка поезда по показаниям путевых светофоров должна обеспечиваться полным служебным торможением, при котором ускорители на работу тормозов не влияют.

Современные воздухораспределители для грузовых поездов большой массы, которыми оснащается железнодорожный подвижной состав в России (483), США и Канаде (ABDW), имеют устройство, ускоряющее снижение давления в тормозной магистрали не только при экстренном, но и при служебном торможении. Максимальная скорость распространения тормозной волны воздухораспределителя усл. № 483 составляет 290...300 м/с в сочетании с высокой нечувствительностью к торможению при медленной разрядке тормозной магистрали темпом мягкости (до 0,08...1,0 МПа/мин.), что улучшило динамику в поезде при торможении и сократило 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 электрического управления, которое регулирует давление в тормозной магистрали (ЭПТ автоматического типа) или непосредственно в тормозных цилиндрах поезда (ЭПТ прямодействующего типа).

При обоих типах ЭПТ локомотив оснащается источником электрического питания, системой управления с контролем прохождения электрических сигналов по всей длине поезда, а все единицы подвижного состава – электрическими магистралями с надежными электрическими контактами в сцепных устройствах (возможна и бесконтактная передача сигнала). При ЭПТ прямодействующего типа все вагоны должны быть оборудованы электровоздухораспределителями. Наиболее сложной проблемой любого

электропневматического тормоза для грузовых поездов является обеспечение надежных электрических контактов между единицами подвижного состава. Она практически может быть решена только оснащением вагонов и локомотивов автосцепкой с надежными, защищенными от загрязнений (как в сцепленном, так и в расцепленном состоянии) электрическими контактами.

Оснащение всего парка грузовых вагонов ЭПТ осложняется необходимостью продолжительного (порядка 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.

5. Образование тормозной силы при колодочном торможении.

Как уже было сказано для торможения и остановки подвижного состава к нему должны быть приложены внешние по отношению к нему тормозные силы. Наиболее часто используемой точкой приложения этих сил является зона контакта колеса и рельса.

На рисунке 10 показана схема взаимодействия колеса, колодки и рельса при торможении.

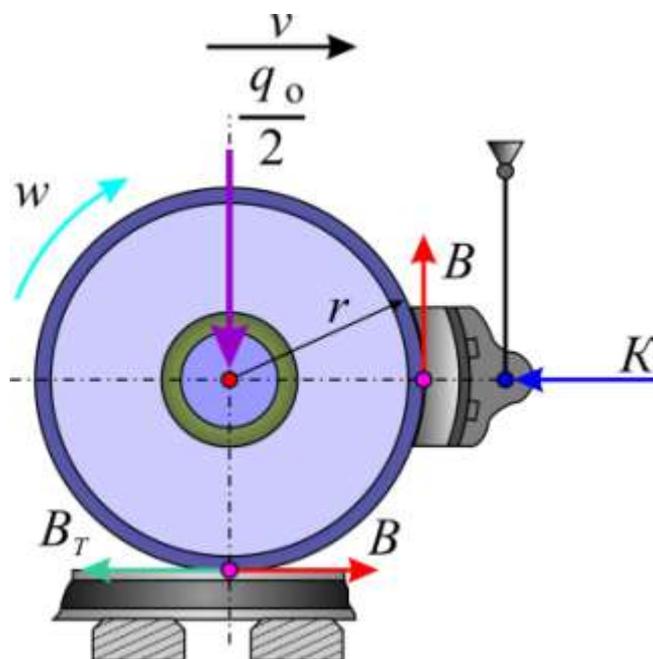


Рисунок 10. Схема сил, действующих на колесо при колодочном торможении: w – угловая скорость вращения колеса; $q_0/2$ – вес приходящийся на одно колесо; v – скорость движения поезда; K – усилие прижатия колодки к колесу; B – внутренняя сила трения колодки о колесо; r – радиус колеса; B_T – реакция со стороны рельса на внутреннюю силу B (тормозная сила).

При колодочном торможении колодка прижимается к колесу с усилием K . В результате механического и межмолекулярного взаимодействия вращающегося колеса и колодки возникает касательная сила трения колодки о колесо B , равна произведению силы прижатия колодки на коэффициент трения:

$$B = K \cdot \varphi_K \quad (1)$$

где φ_K – коэффициент трения колодки о колесо.

Возникшая таким образом сила стремится мешать вращению колеса в указанном направлении w , однако так как она является внутренней для поезда, она не может остановить его. Однако, данная сила начинает «цепляться» к рельсу в точке его контакта с колесом, стремясь сдвинуть его в след за поездом. Так как рельс прикреплен к шпалам, то он остается неподвижным. В свою очередь, неподвижный рельс тормозит катящееся

по нему колесо с силой B_T , являющейся реакцией рельса на силу B . Сила B_T является внешней силой по отношению к поезду и направлена против направления его движения, поэтому она является тормозной силой стремящейся его остановить. Аналогичным образом, внешняя тормозная сила получается при дисковом и электродинамическом торможении.

Подводя итог взаимодействию колеса, колодок и рельса при торможении можно описать следующим образом: колодки прижимаются к колесам для того, чтобы возникшая сила трения B вызвала появление равной ей внешней силы B_T которая, имея направление против движения поезда, 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 сразу прекратят вращение, но сам поезд будет продолжать движение вперед.

6. Возникновение юза. Условие безюзового торможения.

Если усилие прижатия колодки к колесу будет слишком большим, то оно перестанет вращаться и наступит явление называемое заклиниванием колесных пар или юзом. Как теоретически доказал еще в 1878 году Н.П. Петров, сила трения колодки о колесо не должна превышать силу сцепления колеса с рельсом:

$$K \cdot \varphi_K \leq \frac{q_o}{2} \cdot \psi_K \quad (2)$$

где $\frac{q_o}{2}$ – вес вагона, приходящийся на одно колесо; ψ_K – коэффициент сцепления колеса с рельсом.

Данное выражение является условием безюзового торможения. В другом виде исходя из данного выражения можно определить максимально возможное нажатие колодки на колесо, при котором не наступает явления «юза»:

$$K \leq \frac{q_o}{2} \cdot \frac{\psi_K}{\varphi_K} \quad (3)$$

Максимальное значение достигается при равенстве левой и правой части:

$$K = \frac{q_o}{2} \cdot \frac{\psi_K}{\varphi_K} \quad (4)$$

Для того, чтобы наиболее полно использовать тормозные силы поезда при экстренном торможении стремятся к равенству между тормозной силой и максимально допустимой силой сцепления колес с рельсами (4). С другой стороны тормозная сила не должна превышать максимально допустимую силу сцепления колесных пар с рельсами, т.е. нельзя допустить возникновения юза. Этим и определяется выбор способов регулирования тормозной силы, рассмотренных ниже.

Как правило, заклинивание колесной пары не наступает мгновенно, этому предшествует ее проскальзывание, вследствие чего скорость колесной пары становится меньше поступательной скорости единицы подвижного состава. Это приводит к увеличению тормозной силы за счет повышения коэффициента трения и заклиниванию. При этом в точке касания колеса с рельсом кинетическая энергия интенсивно превращается в тепловую, и вследствие истирания и воздействия высокой температуры на поверхности катания колеса образуется ползун (овальная площадка). Это явление сопровождается характерным, сдвигом металла в месте образования ползуна. На рисунке 2 показан процесс заклинивания колесной пары.

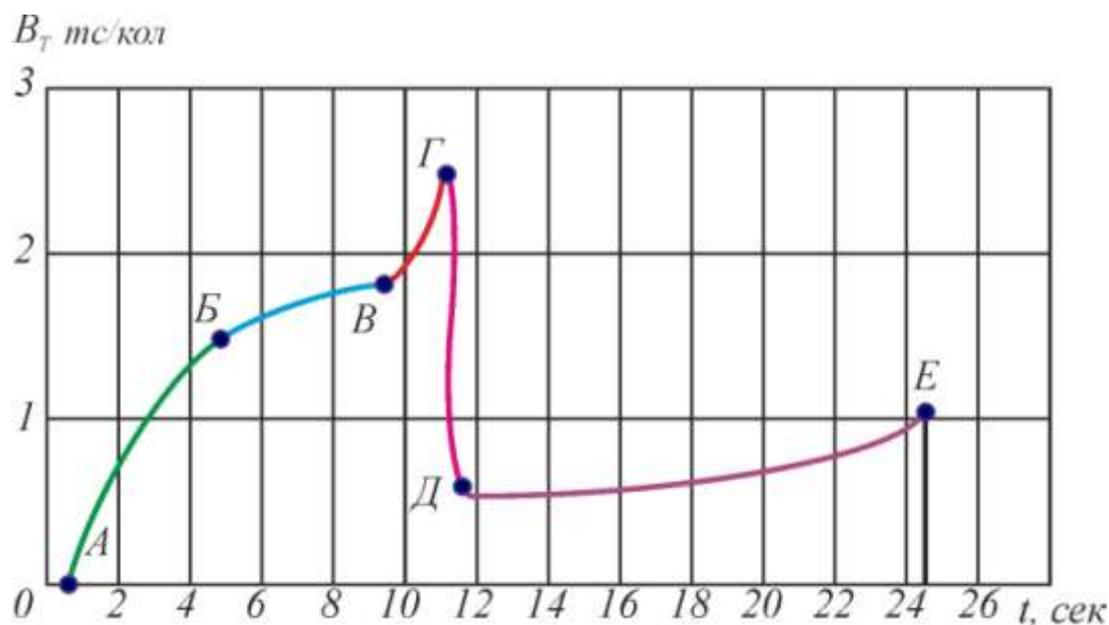


Рисунок 11. Процесс заклинивания колесной пары:

t – время, с момента начала торможения; V_T – тормозная сила, реализуемая на одном колесе.

На участке АБ тормозная сила нарастает вследствие увеличения силы нажатия колодок на колесо, а на участке БВ — из-за роста коэффициента трения вследствие уменьшения скорости (при постоянной силе нажатия колодок). В точке В из-за нарушения сцепления с рельсом скорость вращения колеса уменьшается, коэффициент трения увеличивается и тормозная сила резко повышается до максимальной, отмеченной на кривой буквой Г. В этот момент вращение колеса прекращается, наступает юз. При этом тормозная сила резко падает до величины, обозначенной буквой Д. Поскольку вращение колеса прекратилось, тормозной силой (участок ДЕ) становится сила трения скольжения между колесами и рельсами. Т.е. теперь сила трения образуется в точке контакта колеса и рельса.

Так как коэффициент трения скольжения колес по рельсам значительно меньше коэффициента сцепления, это приводит к увеличению времени движения поезда, т. е. к увеличению тормозного пути. Некоторое увеличение тормозной силы перед остановкой (точка Е) объясняется ростом коэффициента трения заклиненного колеса при падении скорости и образованием ползуна, т. е. большей поверхностью контакта.

Основная опасность юза заключается в том, что тормозная сила в случае его возникновения резко снижается, а, следовательно, значительно увеличивается тормозной путь поезда.

Особенно опасен юз при трогании с места, когда коэффициент трения составляет 0,20–0,25. Уже при скорости 5–8 км/ч коэффициент трения между колесом и рельсом снизится до 0,08–0,1, т. е. станет примерно в два раза меньше, и восстановить вращение колеса весьма трудно. При глубине ползуна, равной 2,5–3,0 мм, колесная пара самостоятельно выйти из юза не может, даже если наступит полный отпуск тормоза.

Износ колеса при юзе (ползун) зависит от скорости движения, нагрузки на ось и коэффициента трения скольжения заклиненного колеса по рельсу. При нагрузке на ось 6 тс износ колеса на 1000 м пути составит примерно 0,1 мм при $v=80$ км/ч и 0,25 мм при $v=140$ км/ч; при нагрузке 20 тс износ соответственно будет 1,25 и 2,9 мм.

При заклинивании колесных пар снижается эффективность тормозов, производится отцепка вагонов для обточки колесных пар с ползунами, превышающими норму,

появляются дополнительные напряжения в колесных парах, буксах и рельсах. В зимнее время несвоевременно обнаруженный ползун может привести к появлению трещин в рельсах (при ползуне глубиной 2 мм сила удара колеса по рельсу при скорости 40 км/ч составляет 45 тс).

Чтобы определиться со способами регулирования тормозной силы для максимального использования сцепных качеств поезда необходимо остановиться на входящих в выражение 2.4 коэффициентах трения и сцепления.

7. Коэффициент трения колодок о колесо.

Процессы, происходящие при трении колодки о колесо (или диск - при дисковом тормозе), весьма сложны. При нажатии колодки на колесо (диск) и взаимном перемещении колодки и колеса происходят следующие явления: срез; складки и разрывы материала колодки и колеса; вдавливание оторванных частиц в колодку и колесо; холодная, а затем и горячая сварка оторванных частиц с колодкой и колесом, с последующими новыми разрывами. Одновременно, поверхность прилегания колодки к колесу подвергается непрерывной смазке, образуемой окалиной, воздухом, пылью, жидким металлом и др. Надо учитывать еще и то обстоятельство, что в процессе торможения колодка разогревается и начинает выпрямляться, из-за чего при высоких температурах суммарная площадь поверхности соприкосновения – фактическая площадь контакта, как показывают эксперименты, становится значительно меньше, чем геометрическая поверхность трения колодки и составляет при чугунных колодках 5 ... 8 %, а при композиционных колодках - 15 ... 20 % общей площади поверхности трения, что еще больше увеличивает температуру колеса и колодки.

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, 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.

На величину коэффициента трения влияет множество различных факторов среди которых можно перечислить следующие:

- материал колодки;
- материал колеса (тормозного диска при дисковом торможении);
- сила прижатия колодки к колесу;
- скорость движения поезда;
- влажность воздуха;
- загрязненность контакта колеса и колодки;
- температура;
- наличие шероховатостей на поверхности катания и колодке и т.п.

На настоящий момент времени, величины коэффициентов трения колодок о колесо определяют опытным путем. При этом учитывают следующие факторы:

- материал колодки;
- скорость движения;
- удельная сила нажатия колодки на колесо.

Способ определения коэффициентов трения заключается в испытании сцепа, состоящего из нескольких одинаковых вагонов. Данный сцеп разгоняется до максимальной скорости, после чего тормозится с постоянной силой прижатия колодок. По записям, полученным на специальной скоростемерной ленте, зная вес поезда, определяют величины тормозных сил поезда в интервалах скоростей по 5-10км/ч. Так как сила

прижатия колодок к колесу известна, то могут быть определены величины коэффициентов трения. На основании опытов составляют графики зависимости коэффициентов трения для разных скоростей движения и сил прижатия тормозных колодок. Затем по полученным результатам выводят эмпирическую (опытную) формулу. Эти формулы утверждаются для дальнейшего использования при всех практических расчетах.

Для определения величины действительного коэффициента трения стандартных колодок используются следующие зависимости:

- стандартные чугунные колодки

$$\varphi_{кд}^ч = 0,6 \cdot \frac{16 \cdot K + 100}{80 \cdot K + 100} \cdot \frac{v + 100}{5 \cdot v + 100}; \quad (5)$$

- стандартные композиционные колодки

$$\varphi_{кд}^к = 0,44 \cdot \frac{K + 20}{4 \cdot K + 20} \cdot \frac{v + 150}{2 \cdot v + 150}. \quad (6)$$

Зависимости коэффициентов трения стандартных чугунных и композиционных тормозных колодок от величин нажатия и скорости движения показаны на рисунках 3 и 4.

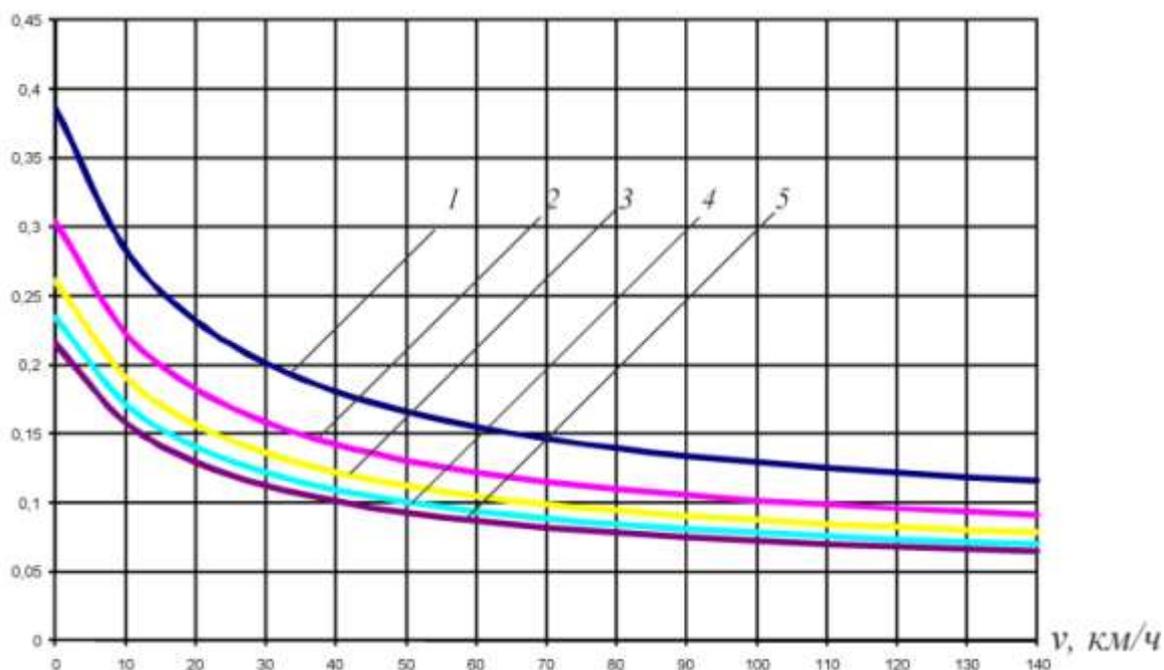


Рисунок 3. Действительный коэффициент трения стандартных чугунных колодок.

1 – $K=1$ тс/кол; 2 – $K=2$ тс/кол; 3 – $K=3$ тс/кол; 4 – $K=4$ тс/кол; 5 – $K=5$ тс/кол.

При плохих погодных условиях (обледенение, мокрый снег, повышенная влажность, дождь) коэффициент трения резко падает, что подтверждается исследованиями у нас в стране и за рубежом.

В настоящее время у нас и за рубежом происходит внедрение новых металлокерамических материалов для тормозных колодок, как для дисковых, так и для колодочных тормозов. Положительными характеристиками этих колодок являются: незначительное изменение коэффициента трения в зависимости от скорости и от температуры в зоне контакта до 450°C ; низкая зависимость от погодных условий; высокая износостойкость (в пять-десять раз выше, чем у чугунных колодок и в два-три раза выше композиционных).

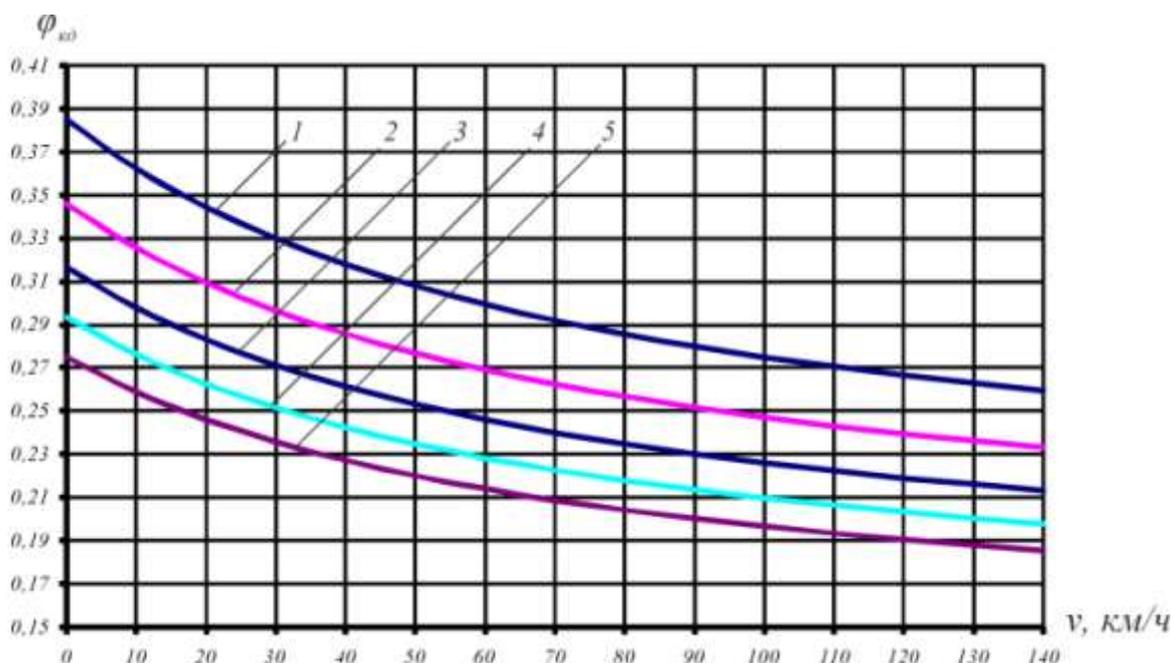


Рисунок 4. Действительный коэффициент трения стандартных композиционных колодок.
 1 – K=1 тс/кол; 2 – K=2тс/кол; 3 – K=3тс/кол; 4 – K=4тс/кол; 5 – K=5тс/кол.

В настоящее время на грузовых вагонах устанавливаются композиционные тормозные колодки, величина коэффициента трения, которых с ростом скорости снижается незначительно, а на пассажирском подвижном составе наряду с композиционными применяются и чугунные колодки, у которых величина коэффициента трения существенно зависит от скорости движения. Это объясняется тем, что для пассажирских поездов необходимы частые и более длительные торможения при повышенных скоростях движения и как следствие перегрев фрикционных узлов, что требует интенсивного отвода значительного количества тепла. В лучшей степени этому отвечают колодки из серого чугуна, обладающие значительно большей теплопроводностью и фрикционной термостойкостью, чем композиционные колодки из полимерных материалов. Некоторые теплофизические свойства материалов для разных типов тормозных колодок приведены в таблице №3.

Таблица №3. Теплофизические свойства тормозных колодок.

Наименование материала	Теплофизические характеристики и коэффициенты трения материалов тормозных колодок			
	Коэффициент теплопроводности α_0 , Вт/(м·К)	Удельная теплоемкость С, кДж/кгс	Критическая температура работоспособности T_k , °С	Коэффициент трения, φ
Композиционный металлокерамический материал на железной основе (МКМ-2)	47,3	0,21	720	0,44
Композиционный полимерный материал на каучуковой основе	2,57	1,28	280	0,42

Наименование материала	Теплофизические характеристики и коэффициенты трения материалов тормозных колодок			
	Коэффициент теплопроводности α_0 , Вт/(м·К)	Удельная теплоемкость C , кДж/кгс	Критическая температура работоспособности T_k , °С	Коэффициент трения, φ
(ТИИР-303)				
Серый чугун модифицированный (СМ)	62,8	0,15	700...800	0,27

8. Коэффициент сцепления колеса с рельсом.

Величина коэффициента сцепления ψ_k при торможении, как показали специально организованные эксперименты у нас 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, росы, снега, льда, измороси, а также в самом начале дождя, когда рельсы еще полностью не смочены (не промыты). Подача песка под колеса при торможении увеличивает коэффициент сцепления.

Так для грузовых вагонов при скоростях от 20 до 120 км/ч и нагрузке колесной пары на рельс от 6 до 22 тс (от 60 до 220 кН) коэффициент сцепления изменяется от 0,13 до 0,07 и для пассажирских при скоростях от 40 до 160 км/ч — от 0,14 до 0,09. Во время тумана, росы, при морозящем дожде, особенно при образовании на рельсах инея и загрязненных рельсах, коэффициент сцепления уменьшается и может быть менее 0,04. При сильном дожде, когда рельсы чистые, коэффициент сцепления остается таким же, как и при сухих рельсах. При входе колес в кривые участки пути и при выходе из них коэффициент сцепления уменьшается на 5-10%. Коэффициент сцепления повышается до 0,2 при подсыпке песка на рельсы и различных способах очистки их. Расчетный коэффициент сцепления колес с рельсами определяется по формуле:

$$\psi_k = [0,17 - 0,00015 \cdot (q_0 - 50)] \cdot f(v); \quad (7)$$

где $f(v)$ - функция скорости, параметры которой зависят от типа подвижного состава. Значения расчетных коэффициентов сцепления для разных типов подвижного состава при скоростях движения, принимаемых для проверки отсутствия заклинивания колесных пар приведены в таблице №4.

Таблица №4. Значения коэффициента сцепления колеса с рельсом.

Тип подвижного состава	Расчетная скорость	Расчетный коэффициент сцепления при нагрузке от колесной пары на рельс, тс				
		6	10	15	20	25
Пассажирские и изотермические вагоны, электро- и дизель-поездов.	40	0,140	0,135	0,130	0,124	-
	120	0,110	0,107	0,102	0,097	-
	140	0,106	0,102	0,098	0,094	-
	160	0,101	0,097	0,094	0,090	-
Грузовые вагоны	20	0,131	0,125	0,121	0,116	0,110
	100	0,097	0,094	0,090	0,086	0,081
	120	0,092	0,090	0,085	0,081	0,070

Локомотивы	20	-	-	0,132	0,126	0,119
	100	-	-	0,097	0,093	0,088
	160	-	-	0,087	0,083	0,078

Характер зависимости коэффициента сцепления от скорости движения поезда при разной осевой нагрузке, для грузовых вагонов показан на рисунке 5.

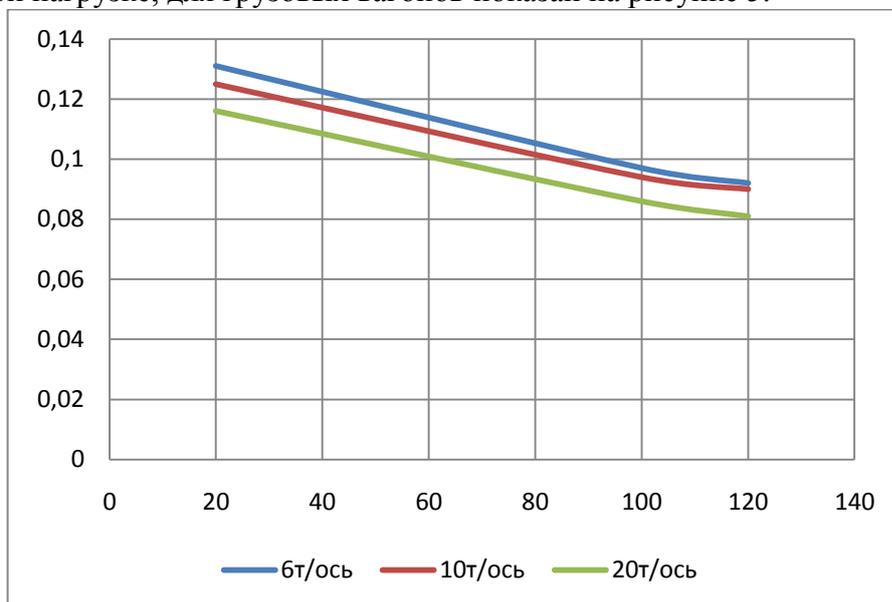


Рисунок 12. Изменение коэффициента сцепления у грузовых вагонов.

9. Способы регулирования тормозной силы.

Важной характеристикой эффективности тормозной системы является ее способность максимально использовать сцепные возможности поезда. Неполное использование сцепных свойств имеет место в процессе наполнения тормозных цилиндров, то есть когда тормозная сила еще не достигла максимальной величины. Поэтому при допустимых условиях по величинам продольных динамических усилий в поезде и заклиниванию колесных пар стремятся к минимальному времени наполнения тормозных цилиндров.

Как уже было сказано ранее, максимально допустимое по условиям безюзового торможения значение величины нажатия колодки на колесо, определяется зависимостью:

$$K_{\max} = \frac{q_o}{2} \cdot \frac{\psi_k}{\varphi_k}.$$

Отношение $\delta = \frac{\psi_k}{\varphi_k}$ называется коэффициентом нажатия колодки на колесо.

Данное выражение можно записать в следующем виде:

$$K_{\max} = \delta \cdot \frac{q_o}{2}.$$

Исходя из этого выражения, следует, что максимальная сила, с которой колодка может прижиматься к колесу, зависит от двух величин, а именно от величины коэффициента нажатия колодки на колесо и нагрузки приходящейся на колесную пару (от веса вагона). В свою очередь, так как коэффициент трения колодки о колесо и коэффициент сцепления существенно изменяются при изменении скорости движения, то, следовательно, от скорости существенным образом будет зависеть и коэффициент нажатия колодки на колесо, а значит и величина максимально допустимого нажатия

колодки на колесо. Как следствие применяются два вида регулирования величины нажатия колодки на колесо: скоростное и весовое.

Скоростное регулирование.

Чтобы уяснить зависимость величины максимально возможного нажатия на колодку от скорости рассмотрим характер изменения коэффициента трения и коэффициента сцепления при изменении скорости движения, показанный на рисунке 6.

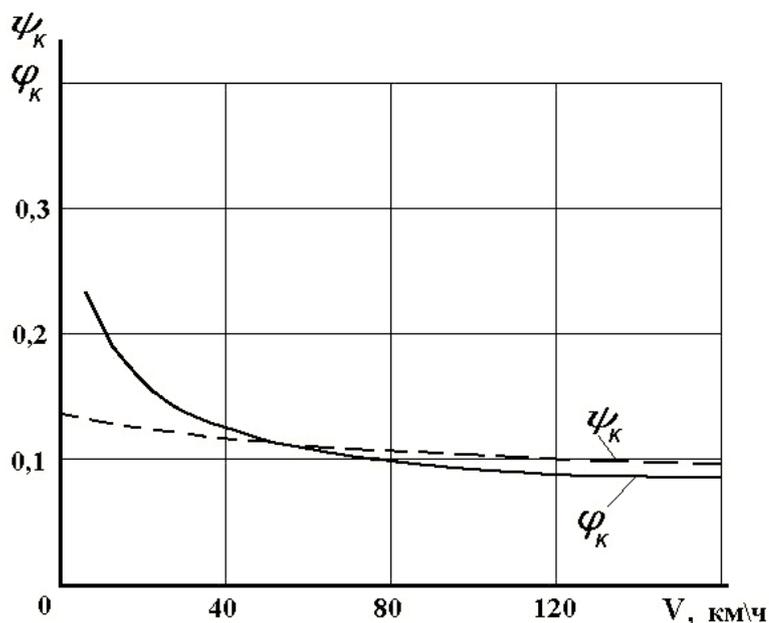


Рисунок 13. Характер изменения коэффициента трения чугунной колодки о колесо и коэффициента сцепления колесной пары с рельсом.

Подсчитав отношение коэффициента сцепления к коэффициенту трения $\delta = \psi_k / \varphi_k$, получим график зависимости коэффициента нажатия колодки на колесо от скорости движения:

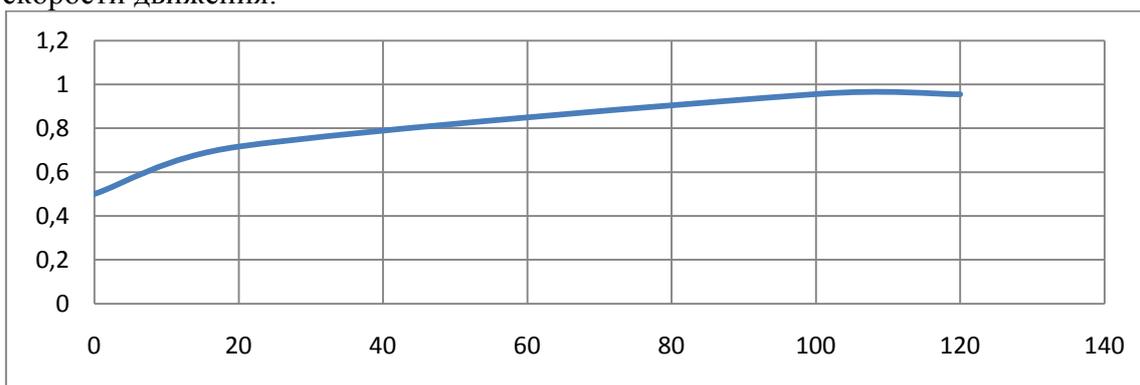


Рисунок 14. Зависимость изменения максимально допустимого коэффициента нажатия колодки на колесо от скорости движения.

Как видно из рисунка 14, коэффициент нажатия колодки на колесо существенным образом зависит от скорости движения поезда и с ростом скорости прослеживается явная тенденция к его увеличению. Следовательно, с ростом скорости движения можно увеличивать величину нажатия колодки на колесо. Стоит отметить, что не только можно, но и нужно, так как чем выше скорость движения поезда, тем больше запасенная им кинетическая энергия, а, следовательно, тем сложнее его остановить.

Скоростное регулирование обычно выполняется ступенчатым, т.е. если скорость ниже определенной величины, то устанавливается одно давление в тормозном цилиндре (нажатие колодок на колесо), если скорость превышает эту величину, то устанавливается повышенное давление, а следовательно и большее нажатие колодок на колесо. Изменение давления производят специальные скоростные регуляторы. Графики, поясняющие принцип скоростного регулирования приведены на рисунке 15.

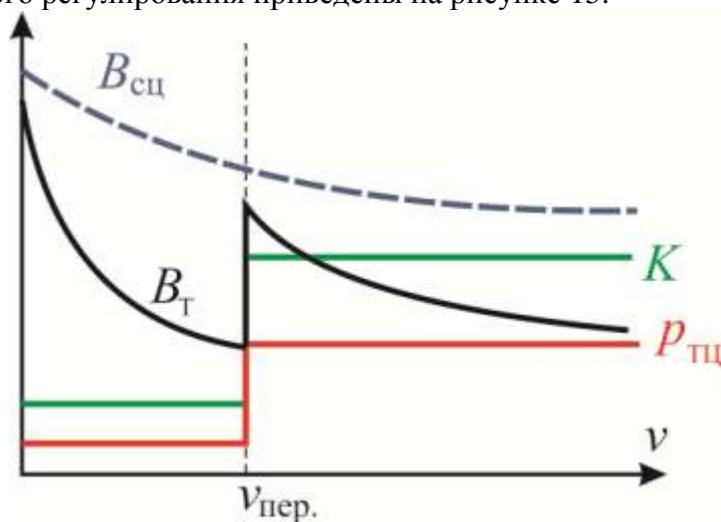


Рисунок 15. Изменение тормозной силы при скоростном регулировании.
 $B_{сц}$ – ограничение тормозной силы по условиям сцепления колеса с рельсом; B_T – реализуемая тормозная сила; K – сила прижатия колодки к колесу; $P_{тц}$ – давление в тормозном цилиндре.

Скоростное регулирование в сочетании с чугунными тормозными колодками, а также приборами предотвращающими возникновение юза применяется на пассажирском и высокоскоростном подвижном составе. На грузовом подвижном составе из-за относительно невысоких скоростей движения и применения композиционных тормозных колодок, у которых коэффициент трения мало зависит от скорости движения, скоростное регулирование не применяется.

Весовое регулирование.

Весовое регулирование применяется в основном для грузовых поездов, так как вес пассажирского вагона изменяется незначительно (до 5-6 тс при tare 48-52 тс). У грузовых же вагонов в порожнем состоянии вес четырехосного вагона составляет порядка 20тс, а груженого 80тс и более. Хотя из этого правила и существует исключение, так например на дизель-поездах ДР-1 и некоторых видах мотор-вагонного подвижного состава применяется автоматическое весовое регулирование. Соответствие между величиной тормозной силы и весом вагона в тормозах грузового типа достигается двумя способами:

- ручным переключением режимов торможения на воздухораспределителе;
- применением специальных устройств – автоматических регуляторов режимов торможения «авторежимов», которые автоматически регулируют тормозное нажатие в зависимости 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, без учета веса тары вагона.

Каждому режиму торможения соответствует определенное давление в тормозном цилиндре. Порядок включения режимов торможения и устанавливаемые при этом давления в тормозных цилиндрах приведены в таблице №5.

Таблица №5. Порядок включения режимов торможения у грузовых вагонов не оборудованных авторежимом.

Режим работы	Давление в тормозном цилиндре, кгс/см ²	Загрузка вагона нетто одну на ось	
		чугунных	композиционных
Порожний (П)	1,4-1,8	менее 3 тс/ось	до 6 тс/ось (включительно)
Средний (С)	2,8-3,3	от 3 до 6 тс/ось (включительно)	более 6 тс/ось
Груженный (Г)	3,9-4,5	более 6 тс/ось	более 10 тс/ось (зимой, на спусках >18‰)*

Автоматический регулятор режимов торможения (авторежим) позволяет избежать ошибки при установке требуемого режима торможения и уменьшает число ручных операций при эксплуатации вагонов.

Корпус авторежима крепится к подрессоренной хребтовой балке вагона, а упор соприкасается с плитой, укрепленной на необрессоренной части тележки (рисунок 9). По мере загрузки вагона расстояние между корпусом авторежима и опорной плитой уменьшается вследствие прогиба рессор вагона. Колебания кузова вагона не сказываются на давлении в тормозном цилиндре, так как демпфирующие пружины и дроссельное отверстие гасят колебания подвижной части авторежима. Подробнее об устройстве и работе авторежима будет рассказано позднее.

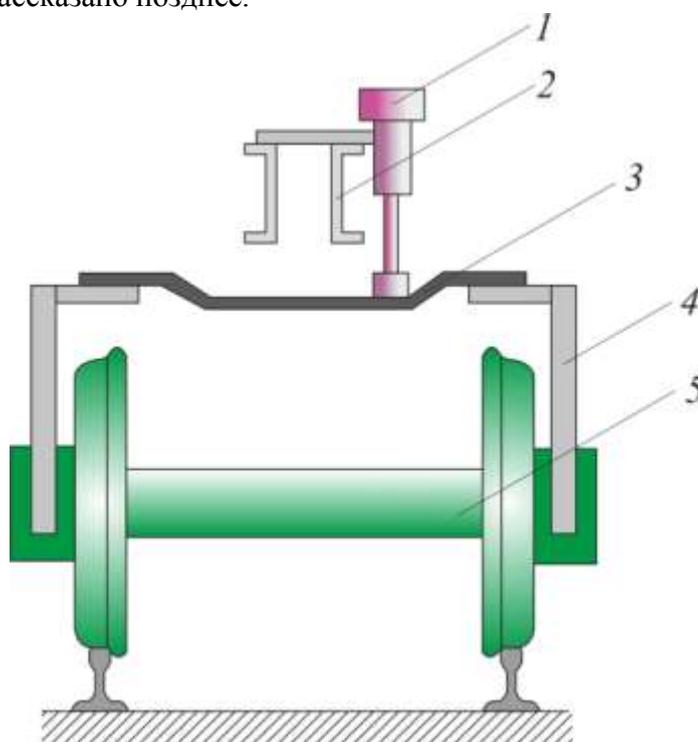


Рисунок 16. Расположение авторежима на грузовом вагоне:

1 – авторежим; 2 – хребтовая балка; 3 – поперечная балка; 4 – боковой прилив; 5 – колесная пара.