

Перспективные конструкции дисковых тормозов для высокоскоростных поездов



В. А. Войтенко,
к. т. н., доцент,
зав. кафедрой
микро- и наноэлектроники
Луганского национального
университета им. В. Даля

С целью улучшения эксплуатационных характеристик дисковых тормозов для высокоскоростных поездов предлагаются идеи перспективных конструкций (новых конструкций клещевого механизма с плавающей тормозной колодкой, вентилируемого тормозного диска с поворотным кольцом, управляющим внутренней конвекцией при торможении).

Создание отечественных высокоскоростных поездов входит в число приоритетных задач РФ. Безопасность и высокая эффективность торможения такого подвижного состава во многом определяются конструкцией тормозных блоков. Наиболее безопасный и надежный дисковый тормоз (ДТ) обеспечивает высокую эффективность торможения [1–3]. После внедрения новых фрикционных материалов на основе композитов и усовершенствования конструкции клещевого механизма получены эксплуатационные характеристики, оцениваемые как лучшие за все время применения ДТ на железнодорожном транспорте [4–9].

Единственный серийно выпускаемый отечественный ДТ производства ОАО «Тверской вагоностроительный завод» для скоростных поездов «Невский экспресс» и «Буревестник» с конструкционной скоростью до 250 км/ч снят с производства. Указанный ДТ, изготавливаемый по достаточно простой технологии, отличался низкой износостойкостью (клиновидный износ) фрикционной пары, износом деталей рычажного механизма, неудобной заменой фрикционных накладок.

В отсутствие реальной отечественной альтернативы импортным ДТ они широко применяются в России. Немецкая фирма Knorr-Bremse поставляет малогабаритные ДТ, изготовленные по высокоточной технологии, для пассажирских вагонов, которые производятся в Твери, и высокоскоростных поездов «Сапсан».

Чешский ДТ фирмы DAKO достаточно простой конструкции, технология его изготовления несложная. Клещевой механизм не компенсирует крен вагона, конструкция вертикальных тяг чувствительна к загрязнениям.

В ДТ французской фирмы Faiveley конструкция тормозного блока сходна с конструкцией, используемой фирмой DAKO, в пневмоприводе применен усилительный редуктор.

В ДТ фирмы Wabtec производства США объединены все основные решения ДТ рассмотренных конструкций.

Стоит выделить ДТ французской фирмы IBRE Sarl с оригинальной конструкцией. Кроме того, нужно отметить публикации об улучшении эксплуатационных характеристик ДТ отечественного производства после изменения конструкции клещевого механизма [1, 4, 5].

При сравнении конструкций ДТ российского и зарубежного производства можно заключить, что отечественные конструкции тормозного блока не обеспечивают равномерного износа фрикционной пары и длительного ресурса основных деталей и узлов, в то время как зарубежные конструкции

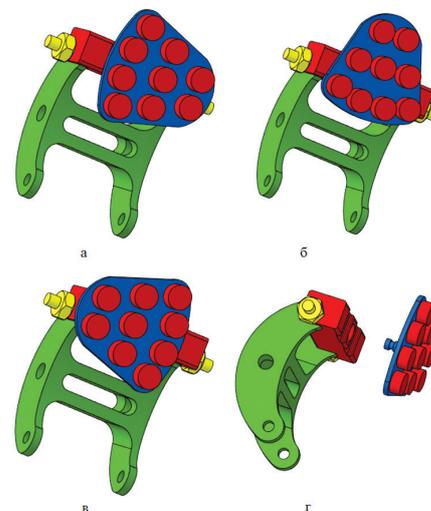


Рис. 1. Клещевой механизм с плавающей тормозной колодкой: а, б, в – начальное, промежуточное и конечное положения плавающей тормозной колодки при ее развороте; г – элементы конструкции

предъявляют высокие технологические запросы к сервисному обслуживанию и часто не соответствуют требованиям эксплуатации на железных дорогах России. Следует отметить, что более сложная конструкция ДТ зарубежных производителей и более высокие требования к технологии его изготовления зачастую оправданы и обеспечивают более высокую надежность и безопасность движения.

Основные принципы построения конструкции ДТ устоялись и практически не меняются, что ограничивает возможности по совершенствованию тормозного блока ДТ. По мнению автора, улучшение характеристик тормозных блоков ДТ возможно при изменении его кинематической схемы и конструкции.

Перспективные конструкции

На основании результатов предварительных исследований автором предложены новые идеи для построения конструкций ДТ и конструкционные перспективные решения:

- замена неподвижной тормозной колодки на тормозную колодку, имеющую возможность поворота вокруг некоторой оси, параллельной оси вращения тормозного диска; такая ось может проходить либо не проходить через центр масс тормозной колодки;
- автоматическое управление внутренней конвекцией вентилируемого тормозного диска.

Идеи для построения тормозных блоков ДТ были реализованы в лабораторных условиях. Далее приведены технические решения, прошедшие стадию предварительных испытаний и доказавшие свою работоспособность и пригодность. Замена неподвижной тормозной колодки на плавающую тормозную колодку с возможностью поворота на угол до 180° вокруг оси, параллельной оси вращения тормозного диска и не проходящей через центр масс тормозной колодки, обеспечивает установку плавающей тормозной колодки в оптимальном положении в начале каждого торможения. При реверсе направления движения высокоскоростного поезда плавающая тормозная колодка осуществляет разворот (рис. 1), износ поверхностей фрикционной пары становится более равномерным. Предельный случай — тормозная колодка в форме диска с осью поворота, проходящей через ее центр масс. Такая тормозная колодка будет вращаться вокруг указанной оси в течение всего торможения, обеспе-

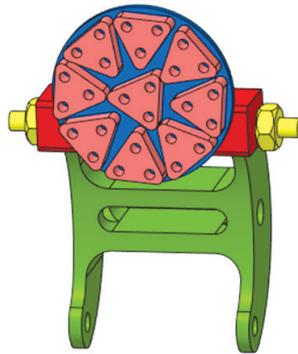


Рис. 2. Клецовый механизм с вращением тормозной колодки

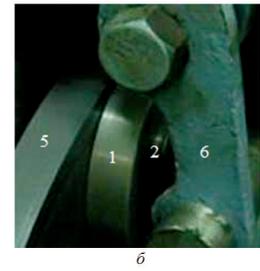
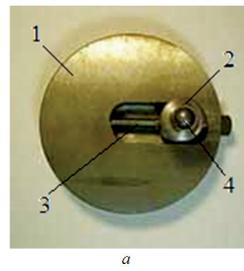


Рис. 3. Конструкция дискового тормоза с плавающей тормозной колодкой: а — конструкция экспериментальной плавающей тормозной колодки; б — дисковый тормоз с плавающей тормозной колодкой: 1 — экспериментальная плавающая тормозная колодка; 2 — поворотная ось; 3 — регулировочный винт; 4 — шарик; 5 — тормозной диск; 6 — клецовый механизм

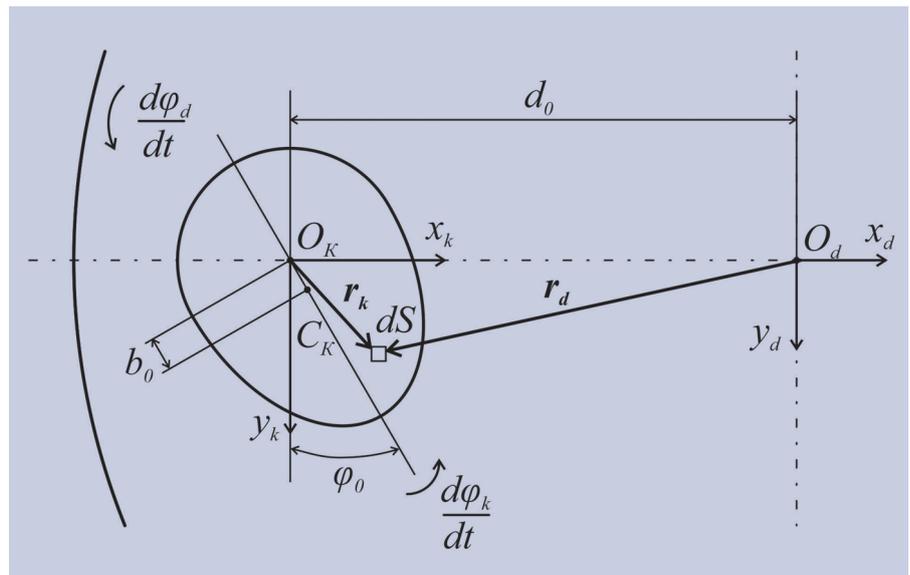


Рис. 4. Расчетная схема для плавающей тормозной колодки в оптимальном положении

чивая приработку взаимодействующих поверхностей фрикционной пары (рис. 2). Однако для этого необходим дорогостоящий упорный подшипник, работающий в условиях предельно высокой температуры. Он не нужен в случае плавающей колодки, осуществляющей поворот в начале торможения при низкой температуре в результате скольжения без смазки.

Плавающая тормозная колодка в начале торможения совершает колебательные движения вокруг оси, не проходящей через ее центр масс. Частота и амплитуда колебаний зависят от геометрических размеров и массы тормозной колодки, а также от расстояния между осью поворота плавающей тормозной колодки и параллельной осью, проходящей через ее центр масс. Колебания обеспечивают плавную установку тормозной колодки в оптимальное положение относительно поверхности тормозного диска и быструю приработку фрикционной пары.

В качестве примера показана конструкция ДТ с экспериментальной пла-

вающей тормозной колодкой из серого чугуна, имеющей форму диска (рис. 3). Однако форма плавающей тормозной колодки, как и геометрия ее рабочей поверхности, может быть произвольной (см., например, рис. 1, 2). Экспериментальная плавающая тормозная колодка (рис. 3, а) содержит регулировочный винт. Он позволяет в процессе стендовых испытаний изменять расстояние между поворотной осью и центром масс тормозной колодки для исследования закономерностей движения плавающей тормозной колодки по рабочей поверхности тормозного диска. Шарик на поворотной оси, обеспечивающий передачу прижимного усилия при малом моменте сопротивления на поворотной оси, в других конструкциях заменен на полноценный упорный подшипник качения.

Схема взаимного расположения тормозного диска и плавающей тормозной колодки в оптимальном положении, поясняющая ее принцип действия, приведена на рис. 4.

На приведенной схеме (рис. 4) показаны: O_d — ось вращения тормозного диска; O_k — поворотная ось плавающей тормозной колодки; C_k — центр масс тормозной колодки; b_0 — расстояние от поворотной оси до центра масс тормозной колодки; d_0 — расстояние между поворотной осью тормозной колодки и осью вращения тормозного диска; φ_0 — оптимальный угол поворота тормозной колодки; dS — элемент площади рабочей поверхности фрикционной пары; r_k — радиус-вектор положения элемента площади dS в системе отсчета $x_k O_k y_k$, связанной с поворотной осью тормозной колодки; r_d — радиус-вектор положения элемента площади dS в системе отсчета $x_d O_d y_d$, связанной с осью вращения тормозного диска; $d\varphi_k/dt$, $d\varphi_d/dt$ — угловая скорость плавающей тормозной колодки и тормозного диска соответственно.

Закономерности силового взаимодействия в ДТ с плавающей тормозной колодкой, подтвержденные экспериментально, могут быть описаны следующим образом.

Угловое ускорение тормозной колодки [10], c^{-2} ,

$$\frac{d^2\varphi_k}{dt^2} = \frac{1}{J} \left(\iint_S dM_f(t) + M_g(t) + M_s \right),$$

где J — момент инерции тормозной колодки относительно поворотной оси, $кг \cdot м^2$;

M_g — момент силы тяжести, $Н \cdot м$;

M_s — момент сил сопротивления в поворотном узле, $Н \cdot м$;

dM_f — момент силы трения, действующий на элемент массой dm тормозной колодки с площадью фрикционной поверхности dS , $Н \cdot м$,

$$dM_f(t) = [r_k(t), dF_f(t)],$$

где $dF_f(t)$ — сила трения, действующая в элементе dS рабочей поверхности, $Н$.

Экспериментально установлена зависимость угла оптимального положения плавающей тормозной колодки от расстояния между поворотной осью и центром масс тормозной колодки (рис. 5, а), при $b_0 < 12$ мм угол оптимального положения $\varphi_0 = 0$. Это означает, что на тормозную колодку будет непрерывно действовать положительный результирующий момент, стремящийся вращать тормозную колодку вокруг поворотной оси O_k . При $b_0 > 12$ мм оптимальный угол поворота φ_0 плавающей тормозной колодки увеличивается нелинейно до значений около 1,27 рад. На рис. 5, б также наблюдается диапазон расстояний между поворотной осью тормозной колодки и осью вращения тормозного диска $d_0 < 110$ мм, соответ-

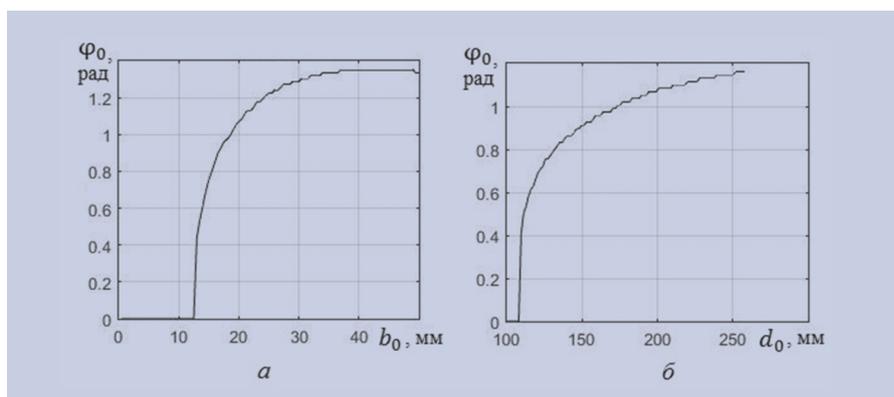


Рис. 5. Зависимости угла оптимального положения плавающей тормозной колодки:

а — от расстояния между поворотной осью и центром масс тормозной колодки; б — от расстояния между поворотной осью тормозной колодки и осью вращения тормозного диска

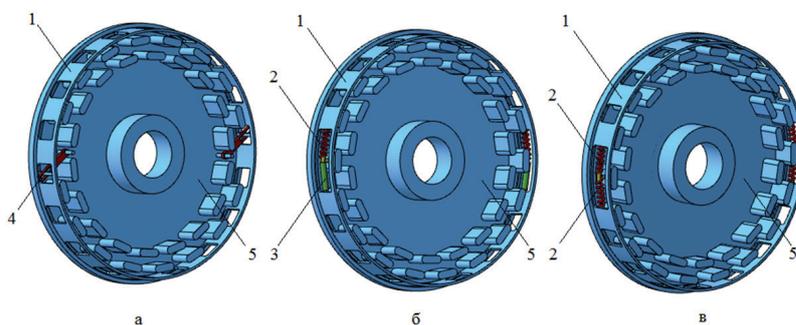


Рис. 6. Конструкции вентилируемого тормозного диска с поворотным кольцом: а — с рычагами в форме вилок; б — с возвратными пружинами и термоупругими цилиндрами; в — с возвратными пружинами; 1 — поворотное кольцо; 2 — возвратная пружина; 3 — термоупругий цилиндр; 4 — рычаг в форме вилки; 5 — тормозной диск

ствующий непрерывному раскручиванию тормозной колодки, и диапазон $d_0 > 110$ мм, в котором угол φ_0 нелинейно возрастает до значений около 1,8 рад. Таким образом, расстояния между поворотной осью и центром масс тормозной колодки, поворотной осью и осью вращения тормозного диска оказывают существенное влияние на оптимальный угол поворота φ_0 плавающей тормозной колодки в режиме торможения. Кроме того, при работе плавающей тормозной колодки отмечается низкий уровень шума, меньшее искрообразование и ее устойчивость к загрязнениям.

Твердость и коэффициент трения материалов фрикционной пары имеют выраженную зависимость от температуры, поэтому для повышения эффективности торможения и уменьшения линейного износа материалов фрикционной пары нужно обеспечить вентиляцию тормозного диска. Во время движения высокоскоростного поезда внутренняя конвекция тормозных дисков выступает источником потерь электроэнергии. Для снижения потерь электроэнергии

можно использовать одну из конструкций тормозного диска с поворотным кольцом (рис. 6).

Во время движения высокоскоростного поезда поворотное кольцо закрывает вентиляционные окна в тормозном диске для экономии электроэнергии. В процессе торможения поворотное кольцо (рис. 6, а) под действием вращающего момента при замедленном движении поезда поворачивается, открывая вентиляционные окна. Поворот кольца ограничивается перемещением двух рычагов в форме вилок. Конструкция вентилируемого тормозного диска с возвратными пружинами и термоупругими цилиндрами с биметаллическими шайбами или другим материалом, меняющим объем при нагревании (рис. 6, б), наиболее энергосберегающая. Она позволяет открывать окна для внутренней вентиляции тормозного диска только при определенной температуре. Вентиляцией можно управлять и при помощи подпружиненного поворотного кольца (рис. 6, в). Пружины возвращают поворотное кольцо в исходное положение

при уменьшении замедления, прекращая внутреннюю вентиляцию тормозного диска. Проще, дешевле и надежнее конструкция вентилируемого тормозного диска с поворотным кольцом, перемещение которого в процессе торможения поезда ограничивается при помощи двух или более рычагов в форме вилок (рис. 6, а).

В заключение нужно отметить, что предложенные идеи для построения конструкций тормозных блоков ДТ, разработанные и предварительно апробированные на их основе технические решения открывают перспективы для улучшения эксплуатационных характеристик ДТ, снижения уровня шума и повышения эффективности торможения высокоскоростных поездов. Для продвижения предложенных идей и технических решений необходима испытательная база, которой автор не располагает, поэтому к сотрудничеству приглашаются заинтересованные лица и подразделения Российских железных дорог.

Литература

1. Карпычев В. А., Солодилов В. Я., Курочкин А. А. и др. Устранение клинового износа фрикционных накладок

в клещевом механизме тормозного блока дискового тормоза для железнодорожного транспорта // Науч.-техн. вестн. Поволжья. 2013. № 4. С. 181–185.
 2. Карпычев В. А., Мошков А. А., Юдин В. А. Качественная оценка влияния подвижностей колесной пары на работу тормозного блока дискового тормоза для железнодорожного транспорта // Наука и техн. трансп. 2014. № 1. С. 72–78.
 3. Титарев Д. В. Обоснование и разработка рациональной конструкции диска тормоза пассажирского вагона: дис. ... канд. техн. наук. Брянск, 2008. – 115 с.
 4. Мошков А. А., Сипягин Е. С. Разработка дискового тормоза для отечественного скоростного железнодорожного транспорта // Вестн. ВЭЛНИИ. 2013. № 1 (65). С. 55–68.
 5. Мошков А. А. Разработка рациональной конструкции блока дискового тормоза для скоростных грузовых и высокоскоростных пассажирских вагонов: дис. ... канд. техн. наук. М., 2014. – 217 с.
 6. Федоров Е. В., Юровских К. В. Анализ продольно-динамических усилий в поезде при торможении // Матер. междунар. конф. «Инновационный транспорт – 2016: специализация желез-

ных дорог». Екатеринбург : Урал. гос. ун-т путей сообщения, 2017. С. 298–304.
 7. Сисин В. А., Кондратьев И. В. Управление процессами торможения современного электроподвижного состава // Матер. IX междунар. конф. «Интеграция образовательной, научной и воспитательной деятельности в организациях общего и профессионального образования» Екатеринбург : Урал. гос. ун-т путей сообщения, 2017. С. 169–173.
 8. Вуколов Л. А., Жаров В. А. Фрикционно-износные характеристики полимерных и металлокерамических накладок дискового тормоза // Сб. докл. междунар. конф. «Механика и трибология транспортных систем». Ростов-на-Дону : Рост. гос. ун-т путей сообщения, 2011. С. 350–353.
 9. Григорьев В. М., Жатченко Я. В. Свойства модифицированного чугуна для тормозных колодок // Трансп. Азиатско-Тихоокеан. региона. 2016. № 1 (6). С. 16–18.
 10. Яворский Б. М., Детлаф А. А., Лебедев А. К. Справочник по физике для инженеров и студентов. М. : Оникс, 2006. – 1056 с.

ТРАНСПОРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ПОРТАЛ ДЛЯ СПЕЦИАЛИСТОВ ТРАНСПОРТНОЙ ОТРАСЛИ

Портал **ROSTRANSPO.COM** – это информационная площадка для встречи специалистов транспорта.

Пишите, и Ваше мнение узнает вся транспортная Россия.

