

Транспортное и энергетическое машиностроение

УДК 629.4.077—592.522.4/5

Дисковый тормоз нового поколения

М.И. Глушко, Е.В. Фёдоров

Рассмотрен дисковый тормоз нового поколения, в котором тормозная сила формируется не в режиме трения при скорости движения, а в режиме качения фрикционной пары с принудительно задаваемым относительным проскальзыванием. Таким образом, предложена новая схема торможения, которую можно охарактеризовать как «торможение сцеплением».

Ключевые слова: дисковые тормоза, коэффициент трения, сила сцепления, транспортное средство, тормозная сила, фрикционная пара, подвижной состав.

New generation disc brakes

M.I. Glushko, E.V. Fedorov

The article deals with a new generation of disc brakes. The essence of the brakes is that the braking power is not formed in the friction mode under velocity of travel, but in the friction pair rolling mode with an enforced relative sliding. Thus, a transition to a new scheme of braking has been offered, which can be characterized as a «grip braking».

Keywords: disk brakes, friction coefficient, traction, vehicle, braking power, friction pair, rolling stock.

Для движения наземного колесного транспортного средства используется сцепление колес с опорной поверхностью. За счет сцепления происходит набор скорости, торможение или удержание заторможенного транспортного средства, и чем больше сила сцепления, тем надежней управляемость и эффективней движение. Известно, что в случае превышения силы сцепления вращение колеса резко изменяется, происходит боксование или заклинивание (блокировка) колеса и процесс сцепления заменяется трением при скорости движения. Происходит значительное уменьшение тангенциальной силы и возрастает износ в зоне контакта колеса с опорной поверхностью.

Сцепление проявляется в виде внешней силы, но вызывается оно внутренней силой трения тормозных колодок по колесу либо тормоз-



ГЛУШКО

Марат Иванович

доктор технических наук,
профессор
(Уральский государственный
университет путей
сообщения)

GLUSHKO

Marat Ivanovich

Dr. Sc. Techn., Professor
(Ural State University
of Railway Transport)



ФЁДОРОВ

Евгений Валерьевич

аспирант
(Уральский государственный
университет путей
сообщения)

FEDOROV

Eugeny Valerievich

Post-Graduate
(Ural State University
of Railway Transport)

ных накладок по диску. При этом сила трения образуется при скорости, соответствующей скорости вращения колеса, что сопровождается значительным износом фрикционных материалов (тормозной колодки или накладки). Такая же сила реализуется в зоне контакта колеса с опорной поверхностью в режиме качения при незначительном износе.

Очевидна триботехническая природа трения и сцепления, но недостаточное представление о характере взаимодействия колеса с опорной поверхностью привело к необходимости введения отдельных параметров — коэффициента трения и коэффициента сцепления. Транспортная наука не дает четкого определения физики фрикционного взаимодействия колес с рельсами, и сцепление относят к разряду особого явления «мистического» характера.

Известно, что контакт между упругими телами (колеса и опоры) вследствие взаимной деформации происходит по определенной площадке; в случае статического приложения тангенциальной силы к колесу проявляется эффект предварительного смещения упругих тел [1]. Предварительное смещение объясняется фактическим проскальзыванием по краям контактной площадки и упругим смещением средней зоны контакта; при дальнейшем возрастании тангенциальной нагрузки скольжение охватывает всю площадку, нагрузка преодолевает силу статического трения и сцепление переходит в трение скольжения при скорости движения. Таким образом, «срыв» сцепления происходит при достижении максимального значения коэффициента статического трения.

Динамический коэффициент сцепления реализуется в режиме непрерывного предварительного смещения колеса относительно рельса в процессе качения колесной пары [2]. Этот факт подтверждается тем, что качение колесной пары в режиме сцепления сопровождается постоянным проскальзыванием колеса относительно рельса, допустимая величина которого определяется переходом к действительному скольжению по всей площадке контакта и составляет 2...4 %.

На рисунке 1 представлена зависимость коэффициента трения ϕ фрикционной пары колесо—рельс от скорости V . При движении

в тормозном режиме со скоростью V_d при допустимом относительном проскальзывании скорость скольжения в зоне контакта составляет $V_{ск}$, которой соответствует коэффициент трения, по значению близкий статическому коэффициенту трения ϕ_0 . В случае превышения значения допустимого проскальзывания колесо переходит в режим скольжения по рельсу со скоростью V_d и с понижением коэффициента трения до уровня $\phi_{ск}$.

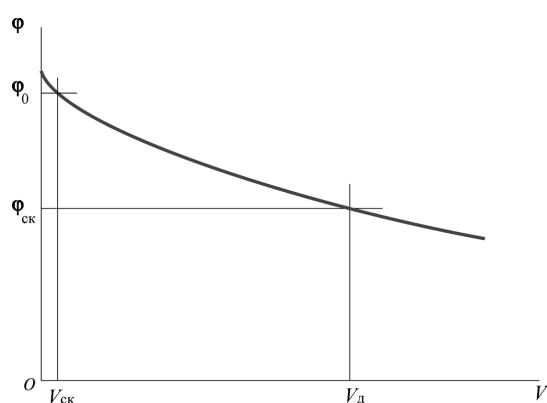


Рис. 1. Зависимость коэффициента трения от скорости при качении колесной пары в тормозном режиме

На транспорте применяется традиционная схема: торможение колесного транспортного средства происходит за счет силы сцепления колес с опорной поверхностью в режиме относительного проскальзывания, а силу сцепления вызывают с помощью трения фрикционной пары, например, тормозной колодки и колеса. Такая схема на железнодорожном транспорте приводит к значительным материальным затратам вследствие интенсивного изнашивания тормозных колодок. Однако, если сила сцепления колеса реализуется в режиме относительного проскальзывания, можно перейти к ее реализации посредством образования и передачи тормозного момента колесу также в режиме проскальзывания. Наиболее вероятным представляется применение такой схемы в дисковом тормозе подвижного состава железных дорог.

Совет генеральных директоров железных дорог Европы в сентябре 2009 г. одобрил подготовленный ЕС проект «Европейский поезд». Цель проекта — повышение безопасности движения. Разработчики программы особую роль в обеспечении безопасности движения прида-

ют системе торможения. По мнению специалистов в обозримом будущем дисковые и колодочные тормоза будут по-прежнему широко использоваться на магистральном подвижном составе. В диапазоне высокой тормозной мощности применяется дисковый тормоз, колодочный — на грузовых вагонах. Дисковые тормоза обладают пониженным уровнем шума, устраняют тепловую нагрузку на обод колеса при торможении. Поэтому на пассажирских вагонах скоростных поездов начали устанавливать исключительно дисковые тормоза.

С учетом перспективы развития тормозных систем и скоростного движения предлагается использовать дисковый тормоз нового поколения, который инициирует тормозную силу в режиме качения. При этом не только резко снижается износ взаимодействующих элементов, но существенно уменьшается усилие по штоку тормозного цилиндра и расход сжатого воздуха.

Аналогов предлагаемой идеи реализации силы сцепления за счет инициирования тормозной силы в режиме сцепления в мировой практике не существует. Суть предлагаемой идеи состоит в том, что тормозная сила формируется не в режиме трения при скорости движения, а в режиме качения фрикционной пары с принудительно задаваемым относительным проскальзыванием. Таким образом, совершается переход к принципиально новой схеме взаимодействия силовой части тормоза, которую можно заявить как аналог сцепления.

Сравнение вариантов показывает, что наиболее эффективный результат ожидается в случае применения нового способа в системе дискового тормоза, в котором рабочим узлом для обеспечения проскальзывания является шариковый подшипник. Конструктивное исполнение применяемых типов подшипника предусматривает работу с минимальным коэффициентом трения, но для дискового тормоза ставится обратная задача — создать силу сопротивления, соответствующую необходимому тормозному эффекту, что достигается особой конструкцией колец для установки шариков упорного подшипника [3].

На рисунке 2 представлена схема дискового тормоза, создающего тормозную силу в режиме качения, которая содержит тормозной диск 1, накладку 2, шарики 3. Тормозной диск 1 закреплен на оси 4; накладки 2 шарнирно соедине-

ны с рычагами 5, на которые воздействует тормозной цилиндр 6 через опорные шарниры 7, соединенные передаточными шарнирами 8 с накладками 2. Тормозной диск 1, две накладки 2 и шарики 3 в сборе образуют двухрядный упорный подшипник с дорожками качения конусного сечения. При подаче сжатого воздуха в тормозной цилиндр 6 рычаги передают силовое воздействие на подшипник, и в процессе движения экипажа шарики 3 вращаются при действии радиальной нагрузки.

На рисунке 3 представлена схема реализации тормозных сил в дисковом тормозе в режиме качения. Сила F прижатия накладок к диску уравнивается радиальными реакциями N в точках k контактирования шариков с дорожками качения (рис. 3, а); центр O_1 шарика вращается относительно центра O_2 оси колесной пары со скоростью V , верхняя контактная точка k^0 попадает в зону вращения накладок со скоростью V^0 , а нижняя точка k_0 — в зону вращения со скоростью V_0 (рис. 3, б); вращение точек по одному кругу катания диаметром d с разными скоростями невозможно, поэтому в точках k^0 и k_0 происходит проскальзывание в зонах контактирования со скоростью

$$\Delta V = V^0 - V_0, \quad (1)$$

при этом относительное проскальзывание определяется по формуле

$$\varepsilon = \Delta V / V = d / R. \quad (2)$$

Проскальзывание шариков в зонах контакта сопровождается трением, которое образует силу сопротивления или тормозную силу в процессе качения, т. е. в режиме сцепления, вызывающую внешнюю реакцию $F_{\text{сц}}$ между колесом 9 и рельсом 10 (см. рис. 2).

Параметры конструктивного исполнения дискового тормоза задаются радиусом движения шариков по дорожке качения и числом шариков, выбором коничности дорожки качения. Габаритные размеры дискового тормоза при наличии двухрядного упорного подшипника и достаточно большого числа шариков с двойным контактированием обеспечат необходимый тормозной момент. Величина относительного проскальзывания выбирается при соблюдении установленного значения изнашиваемости фрикционных деталей.

Особенностью предлагаемого дискового тормоза является незначительный ход штока,

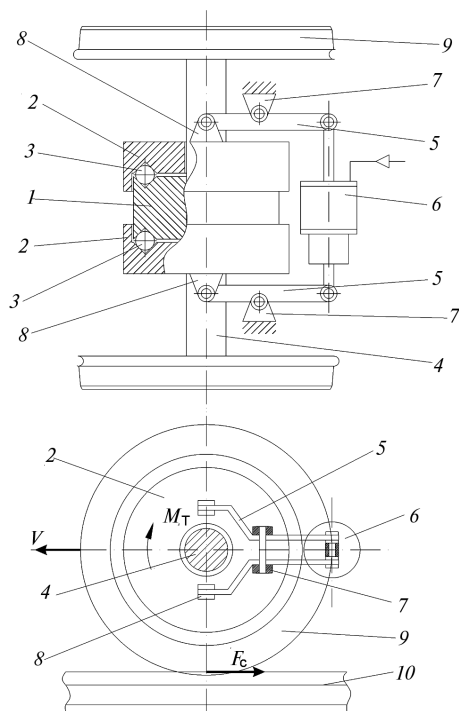


Рис. 2. Схема предлагаемого дискового тормоза

величина которого определяется только упругими деформациями. При этом резко снижается расход сжатого воздуха и исключаются отводящие устройства.

Предварительная проверка возможности реализации идеи «торможение в режиме качения» с помощью упорного подшипника с конусными дорожками качения проводилась на опытной макете дискового тормоза. При испытании макета коэффициент трения упорного подшипника увеличился в несколько десятков раз, что подтверждает возможность реализации предложенной идеи.

Литература

1. Верховский А.В. Явление предварительного смещения при трогании несмазанных поверхностей с места // Журнал прикладной физики. 1926. Т. 3. Вып. 3–4. С. 72–74.

Информация об авторах

ГЛУШКО Марат Иванович (Екатеринбург) — доктор технических наук, профессор кафедры «Электрическая тяга». Уральский государственный университет путей сообщения (620034, г. Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66).

ФЁДОРОВ Евгений Валерьевич (Екатеринбург) — аспирант кафедры «Электрическая тяга». Уральский государственный университет путей сообщения (620034, г. Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66, e-mail: fedorov335@yandex.ru).

Information about the authors

GLUSHKO Marat Ivanovich (Ekaterinburg) — Dr. Sc. Techn., Professor of «Electric Traction» Department. Ural State University of Railway Transport (Kolmogorov st., 66, Ekaterinburg 620034, Russia).

FEDOROV Eugeny Valerievich (Ekaterinburg) — Post-Graduate of «Electric Traction» Department. Ural State University of Railway Transport (Kolmogorov st., 66, Ekaterinburg 620034, Russia, e-mail: fedorov335@yandex.ru).

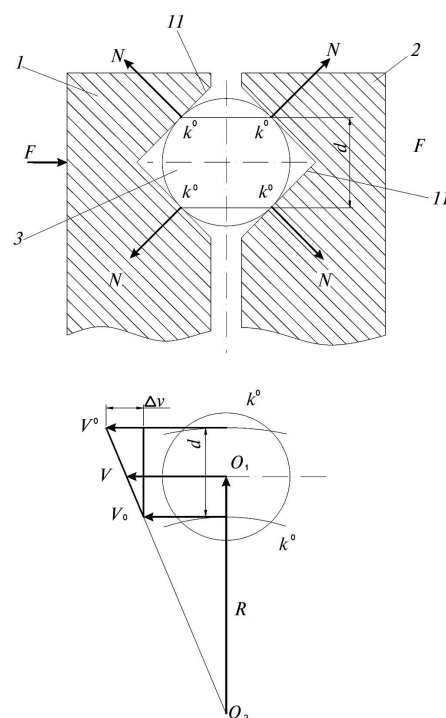


Рис. 3. Схема реализации тормозных сил

2. Глушко М.И. Реализация тангенциальных сил в зоне контактов колеса с рельсом // Труды ВНИИЖТ. 1983. Вып. 664. С. 31–41.

3. Патент на изобретение № 2375226 «Способ торможения колесного транспортного средства».

References

1. Verkhovskii A.V. Iavlenie predvaritel'nogo smeshcheniia pri troganii nesmazannykh poverkhnostei s mesta [Phenomenon prior bias in moving from place lubricated surfaces]. *Zhurnal prikladnoi fiziki*, 1926, vol. 3, issue 3–4, pp. 72–74.

2. Glushchko M.I. Realizatsiia tangentsial'nykh sil v zone kontaktov kolesa s rel'som [The implementation of the tangential forces in the contact area with the rail wheels]. *Trudy Nauchno-issledovatel'skogo instituta zheleznodorozhnogo transporta* [Proceedings of the Scientific Research Institute of Railway Transport]. 1983, issue 664, pp. 31–41.

3. *Sposob tormozheniia kolesnogo transportnogo sredstva* [Way inhibition wheeled vehicle]. Patent RF, no. 2375226.

Статья поступила в редакцию 15.10.2012