

Расчет зависимости коэффициента трения композиционных гребневых колодок для локомотивов от силы нажатия и скорости торможения

А. Э. ГАБИДУЛЛИН¹, Д. В. ГОРСКИЙ², И. В. НАЗАРОВ², В. А. НИКИТИН³

¹Общество с ограниченной ответственностью «Локомотивные технологии» (ООО «ЛокоТех»), Москва, 109004, Россия

²Акционерное общество «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта» (АО «ВНИИЖТ»), Москва, 129626, Россия

³Акционерное общество «Завод фрикционных и термостойких материалов» (АО «ФРИТЕКС»), Ярославль, 150003, Россия

Аннотация. АО «ФРИТЕКС» разработаны безасбестовые гребневые тормозные композиционные колодки UR 01-01 с пониженным коэффициентом трения, которые в отличие от применяемых в настоящее время на локомотивах чугунных гребневых тормозных колодок обладают высокой износостойкостью и более стабильными фрикционными свойствами на высоких скоростях. Они намного легче традиционных чугунных колодок, что обеспечивает уменьшение затрат на логистику и облегчает их замену сервисными подразделениями.

Однако новые материалы, применяемые для производства колодки, а также ее инновационная конструкция, в которой сочетаются два типа материалов, требуют детального исследования ее фрикционных свойств. Для этого было выполнено моделирование режимов торможения локомотива, оборудованного колодками UR 01-01, в натурном узле тормозного механизма на инерционном стенде при фиксированных нажатиях и скоростях. По результатам экспериментов были определены величины коэффициентов трения тормозной колодки и установлена зависимость коэффициента трения колодок от силы нажатия и скорости торможения. Полученные данные использованы в тормозных расчетах для электровоза серии ВЛ80, включающих определение тормозного пути, удержание одиночного локомотива на уклоне стояночным тормозом и обеспечение безюзового торможения в связи с более высокими значениями коэффициента трения колодки UR 01-01 на высоких скоростях. Композиционная гребневая колодка обеспечивает соответствие нормативным значениям показателей длины тормозного пути, безюзового торможения и удержания на уклоне для электровоза серии ВЛ80. При этом применение этих композиционных колодок возможно без изменений в устройстве рычажной передачи электровоза.

Для апробации полученной эмпирической зависимости коэффициента трения новых колодок от силы нажатия и скорости торможения локомотива и ее повсеместного применения в расчетах тормозных систем необходимо проведение ходовых тормозных испытаний.

Ключевые слова: тормозная колодка; трение; эффективность торможения; тормозная композиционная колодка UR 01-01

Состояние вопроса. Применяемые в настоящее время на локомотивах чугунные гребневые тормозные колодки имеют ряд существенных недостатков,

таких как нестабильность коэффициента трения в зависимости от скорости движения, низкая износостойкость и негативное влияние на поверхность катания колес, особенно с увеличением скорости и силы нажатия [1]. С целью устранения указанных недостатков АО «ФРИТЕКС» разработало безасбестовые гребневые тормозные композиционные колодки UR 01-01 с пониженным коэффициентом трения. Данные колодки можно использовать без переделки существующей рычажной передачи.

Действующие нормативные документы устанавливают общие требования к диапазону реализуемого тормозными колодками коэффициента трения пары «колодка—колесо», при этом разброс значений коэффициента достаточно широк [2, 3]. Основные тезисы по проблемам внедрения инновационных фрикционных пар в узле трения «колодка—колесо» приведены в [4].

При выполнении конструкторских работ для всех единиц железнодорожного подвижного состава проводят расчет тормозной системы на эффективность торможения, удержание на уклоне стояночным тормозом и отсутствие юза колесных пар при торможении. Расчет проводят с использованием эмпирических формул, приведенных в правилах тяговых расчетов и определяющих порядок расчета тормозных систем в зависимости от материала колодки, скорости движения и силы нажатия [5, 6]:

$$\varphi_{рч} = 0,6 \frac{1,6K + 100 \quad v + 100}{8,0K + 100 \quad 5v + 100}; \quad (1)$$

$$\varphi_{рч.в} = 0,52 \frac{1,6K + 20 \quad v + 100}{5,2K + 20 \quad 5v + 100}; \quad (2)$$

$$\varphi_{рк} = 0,44 \frac{0,1K + 20 \quad v + 150}{0,4K + 20 \quad 2v + 150}; \quad (3)$$

где $\varphi_{рч}$ — расчетный коэффициент трения для стандартных чугунных колодок; $\varphi_{рч.в}$ — расчетный

■ E-mail: gorsky.dmitry@vniizht.ru (Д. В. Горский)

коэффициент трения для чугунных колодок с содержанием фосфора 1,0—1,4%; $\varphi_{\text{рк}}$ — расчетный коэффициент трения для композиционных колодок; K — сила нажатия, кН; v — текущая скорость, км/ч.

Следует отметить, что формулы (1), (2), (3) являются эмпирическими, полученными по результатам испытаний, и могут некорректно описывать тормозные свойства колодок, произведенных с использованием новых материалов. Это подтверждает опыт эксплуатации, когда характеристики колодок не всегда обеспечивают требуемые показатели работы тормозной системы железнодорожного подвижного состава (безюзное торможение, удержание на уклоне и длина тормозного пути [6]), несмотря на соответствие коэффициен-



Рис. 1. Общий вид гребневой тормозной композиционной колодки UR 01-01 с чугунной вставкой
Fig. 1. General view of the ridge composite brake shoe UR 01-01 with a cast iron insert

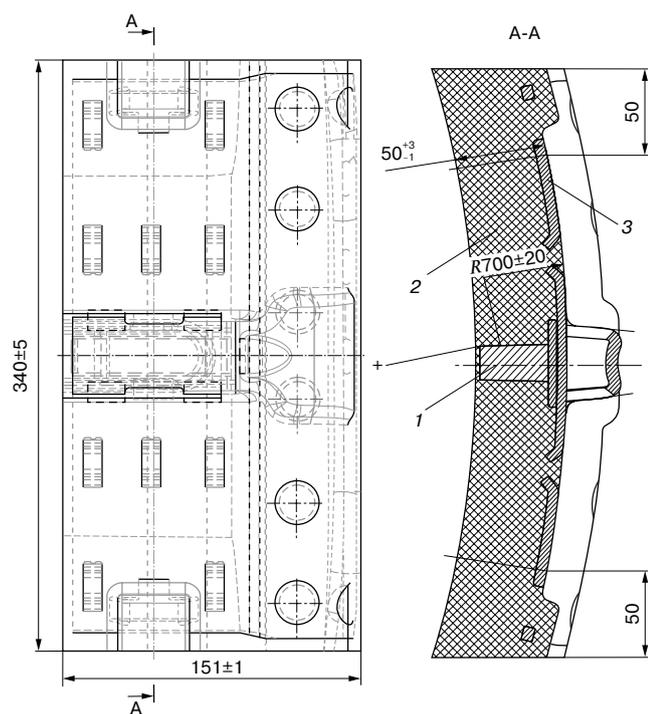


Рис. 2. Колодка UR 01-01:
1 — вставка из стандартного серого чугуна; 2 — композиционный фрикционный материал; 3 — металлический каркас
Fig. 2. UR 01-01 brake shoe:
1 — insert made of standard gray cast iron; 2 — composite friction material; 3 — metal frame

тов трения нормативной документации [2, 3]. Для решения задачи определения расчетной зависимости коэффициента трения колодки UR 01-01 исследуется трехфакторная модель, т. е. зависимость от материала, мгновенных значений скорости торможения и силы нажатия в процессе торможения.

Постановка задачи. Согласно требованиям нормативно-технической документации, а также в силу установившейся практики, локомотивы, как магистральные, так и маневровые, на пространстве колеи 1520 мм оборудуют чугунными тормозными колодками по ГОСТ 30249–97 [7] с известными свойствами и зависимостью коэффициента трения, приведенной в [5]. Недостатки применения чугунных колодок показаны в [8]. В целях повышения экономической эффективности эксплуатации локомотивного парка в настоящее время активно ведутся работы по внедрению композиционных тормозных колодок с низким коэффициентом трения (как у чугунных колодок), обладающих в 4–5 раз более высокой износостойкостью [9] и значительно более стабильными фрикционными свойствами на высоких скоростях. Кроме того, снижение в 3 раза массы колодки обеспечивает уменьшение затрат на логистику и облегчает замену колодок сервисными подразделениями. При этом колодки должны соответствовать нормативным требованиям и заявляемым характеристикам в широком диапазоне условий эксплуатации: при скорости движения до 160 км/ч, при применении затяжных торможений на спусках и силы нажатия на колодку до 70 кН.

В качестве опытного образца АО «ФРИТЕКС» разработало безасбестовые гребневые тормозные композиционные колодки UR 01-01, состоящие из специальной композиции и твердой вставки из стандартного чугуна и обладающие низким коэффициентом трения, близким к стандартному серому чугуну [10]. Общий вид колодки UR 01-01 приведен на рис. 1 и 2.

В целях определения расчетной зависимости коэффициента трения композиционной колодки UR 01-01 от скорости движения и силы нажатия и для оценки возможности применения этих колодок на локомотивах были проведены следующие работы:

1. Моделирование режимов торможения локомотива, оборудованного колодками UR 01-01, в натурном узле тормозного механизма на инерционном стенде при фиксированных нажатиях и скоростях.
2. Определение расчетной зависимости коэффициента трения колодок UR 01-01 от силы нажатия и скорости торможения.
3. Сопоставление расчетных коэффициентов трения для композиционной колодки UR 01-01 и стандартной чугунной колодки.
4. Оценка возможности применения композиционной колодки UR 01-01 на магистральном локомотиве (выбран электровоз серии ВЛ80).

Условия проведения испытаний. Определение коэффициентов трения на стенде выполнено при следующих условиях:

1. Момент инерции вращающихся масс стенда $J = 2759,5 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, что соответствует нагрузке на ось локомотива, равной 245 кН.

2. На стенде испытывались две колодки одновременно. Сила нажатия на каждую колодку составляла 20, 30 и 35 кН. Цикл испытаний при каждом нажатии содержал 8 полных остановочных служебных торможений с начальных скоростей 5, 10, 30, 50, 90, 120, 140, 160 км/ч.

3. Температура от 21,3 до 23,5 °С, относительная влажность от 45,2 до 66,4 %, атмосферное давление от 99,5 до 100,5 кПа.

4. Испытания проведены с цельнокатаным колесом диаметром 950 мм.

5. Набор начальных скоростей при стендовых испытаниях соответствовал стандартной программе.

Регулировка основных параметров испытаний (скорости, давления в тормозном цилиндре) на стенде проводилась с помощью микропроцессорной системы управления. Проверка силы нажатия колодок на колесо осуществлялась при тарировке с помощью образцового динамометра. При каждом торможении фиксировались скорость вращения колесной пары (км/ч), момент вращения колесной пары (Н·м), время торможения (с), сила нажатия тормозных колодок (кН).

Значения фактического коэффициента трения $\varphi_{\text{фк}}$ для каждого опыта подбирались из уравнения движения поезда при торможении (4) методом итерации:

$$S_{\text{т}} = (1 + \gamma) \int_0^{v_{\text{нач}}} \frac{v dv}{(K_{\text{д}} m \varphi_{\text{фк}}) / g + M_{\text{лок}}}, \quad (4)$$

где $S_{\text{т}}$ — значение тормозного пути, определенное на стенде, м; γ — безразмерный коэффициент, учитывающий инерцию вращающихся масс (для стенда принят равным 0,04); $v_{\text{нач}}$ — начальная скорость, км/ч; $K_{\text{д}}$ — сила нажатия колодок на стенде, кН; m — количество колодок, воздействующих на одно колесо (2 шт.); $M_{\text{лок}}$ — масса локомотива, приведенная к одному колесу, т; g — ускорение свободного падения, м/с².

Распределение опытных значений коэффициента трения композиционных колодок UR 01-01 с чугунными вставками в зависимости от начальной скорости торможения, полученных в ходе стендовых испытаний, приведено на рис. 3.

Анализ экспериментальных данных. Исходя из уравнений (1), (2) и (3) для композиционных колодок UR 01-01 был предложен следующий вид зависимости коэффициента трения от скорости начала торможения и силы нажатия на колодку:

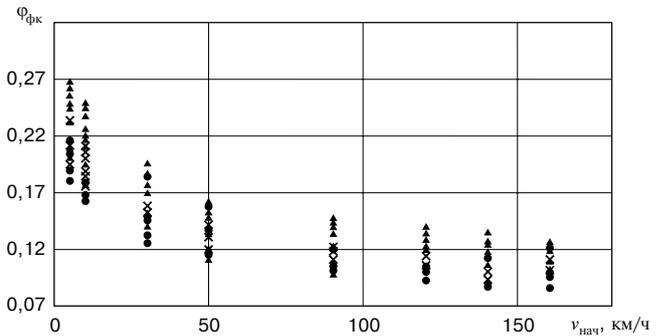


Рис. 3. Поле распределения опытных значений коэффициента трения $\varphi_{\text{фк}}$ в зависимости от начальной скорости торможения $v_{\text{нач}}$ и силы нажатия колодок $K_{\text{д}}$:
▲ — 20 кН; × — 30 кН; ● — 35 кН

Fig. 3. Distribution field of experimental values of the friction coefficient $\varphi_{\text{фк}}$ depending on the initial braking speed $v_{\text{нач}}$ and pressing force of the shoes $K_{\text{д}}$:
▲ — 20 кН; × — 30 кН; ● — 35 кН

$$\varphi_{\text{рк}} = 0,6 \frac{a_1 K + a_3 a_4 v + a_6}{a_2 K + a_3 a_5 v + a_6}, \quad (5)$$

где $a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6$ — эмпирические коэффициенты.

Используя стандартные численные методы [11], были определены коэффициенты уравнения (5). Минимизируемая функция представляла сумму дисперсий расчетных и фактически измеренных коэффициентов трения пары «колодка—колесо» (6); также при определении коэффициентов $a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6$ принято ограничение $1 \leq a_k \leq 100$.

$$f(a_k) = \sum_{i=1}^8 \sum_{j=1}^3 (\varphi_{\text{рк}}(v_i K_j) - \varphi_{\text{фк}}(v_i K_j))^2. \quad (6)$$

Расчитанные коэффициенты уравнения $a_1 = 0,65$; $a_2 = 4,67$; $a_3 = 65,7$; $a_4 = 1,0$; $a_5 = 3,1$; $a_6 = 64,5$ были округлены, полученная зависимость коэффициента трения колодок UR 01-01 от текущих сил нажатия и скоростей торможения представлена следующим выражением:

$$\varphi_{\text{рк}} = 0,6 \frac{0,6K + 66 v + 64}{4,7K + 66 3v + 64}. \quad (7)$$

На рис. 4 показаны зависимости расчетных коэффициентов трения при силе нажатия на колодку 30 кН. Как видно из представленных графиков, коэффициенты трения чугунной колодки и колодки UR 01-01 в области скоростей до 25 км/ч достаточно близки, следовательно, торможения при использовании колодки UR 01-01 будут выполняться с той же эффективностью, что и с обычной чугунной колодкой. При скоростях свыше 45 км/ч значения коэффициентов трения композиционной колодки UR 01-01 выше, чем у обычной чугунной, на 20 %, что будет способствовать сокращению длины тормозного пути.

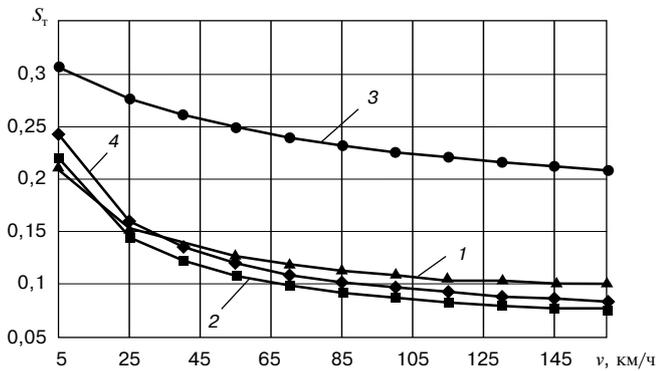


Рис. 4. Зависимость коэффициента трения от скорости торможения при усилии нажатия 30 кН для колодки: 1 – UR 01-01; 2 – стандартной чугуной; 3 – стандартной композиционной; 4 – чугуной высокофосфорной

Fig. 4. Dependence of the coefficient of friction on the braking speed with a pressing force of 30 kN for the shoe: 1 – UR 01-01; 2 – standard cast iron; 3 – standard compositional; 4 – high-phosphoric cast iron

В отличие от коэффициентов трения колодки UR 01-01 коэффициент трения стандартной вагонной композиционной колодки (с высоким коэффициентом трения) в 2–2,5 раза выше, чем у чугуной, практически при всех скоростях начала торможения. Анализ рис. 4 демонстрирует невозможность эксплуатации на локомотиве стандартных композиционных колодок при существующей рычажной передаче.

Для оценки возможности применения новых композиционных колодок UR 01-01 с чугунными вставками на локомотивах без изменения рычажной передачи выполнены тормозные расчеты для электровоза серии ВЛ80, включающие определение тормозного пути, удержание одиночного локомотива на уклоне стояночным тормозом и обеспечение безюзового торможения в связи с более высокими значениями коэффициента трения колодки UR 01-01 на высоких скоростях (по сравнению с обычной чугуной колодкой).

При определении длины тормозного пути рабочее давление в тормозном цилиндре принято 0,4 МПа, для проверки отсутствия юза — 0,45 МПа. Для указанных рабочих давлений исходя из конструктивных характеристик электровоза серии ВЛ80 (диаметр тормозного цилиндра, КПД и передаточное отношение рычажной передачи) рассчитаны силы нажатия на колодку, которые составили 41,1 и 49,1 кН соответственно.

Тормозной путь одиночного локомотива определяется по формуле [5, 6]:

$$S_d = \sum \frac{500(v_n^2 - v_k^2)}{\xi(b_r + w_{0x})}, \quad (8)$$

где v_n, v_k — начальная и конечная скорость интервала торможения, км/ч; ξ — замедление поезда, км/ч²; b_r —

удельная тормозная сила одиночного локомотива, Н/т, $b_r = 1000\varphi_{pk}g_p$; w_{0x} — удельное сопротивление движению одиночного локомотива, Н/т.

Рассчитанный по формуле (8) тормозной путь электровоза серии ВЛ80, оборудованного колодками UR 01-01, составляет 681 м, что соответствует требованиям ГОСТ Р 55364–2012 [12], следовательно, композиционная колодка UR 01-01 с чугуной вставкой обеспечивает необходимую длину тормозного пути.

Максимальная сила нажатия колодок не должна вызывать юза колесной пары при торможении. Проверкой безюзового торможения является выполнение условий надежности сцепления колеса с рельсом [5, 6]:

$$\delta_p \varphi_{pk} < \psi_k, \quad (9)$$

где δ_p — расчетный коэффициент усилия нажатия колодок на колесо; ψ_k — коэффициент сцепления колеса с рельсом.

Выполненные расчеты для скоростей 20 и 100 км/ч ($\delta_p \varphi_{pk}(20) = 0,077 < 0,106$, $\delta_p \varphi_{pk}(100) = 0,051 < 0,077$) показывают, что условия безюзового торможения для колодки UR 01-01 выполняются.

Действительная сила нажатия с учетом ручного привода стояночного тормоза определена исходя из конструктивных особенностей локомотива и составляет 50 кН. Минимальный уклон пути, при котором произойдет страгивание одиночного локомотива с места, составил 42,5‰ (10), что выше регламентированного значения в 30‰ [12].

$$i \leq \frac{B + W_{tp}}{P_c} = 42,5, \quad (10)$$

где B — тормозная сила стояночного тормоза, кН, $B = mK_d \varphi_{pk}$; W_{tp} — сила сопротивления при трогании с места, кН, $W_{tp} = w_{0x} P_c$; P_c — служебный вес локомотива, кН.

Выводы. 1. Показана необходимость определения аналитической зависимости коэффициента трения колодок с новыми физико-механическими и трибологическими характеристиками от силы нажатия и скорости торможения. Тормозные показатели подвижного состава с такими колодками (тормозной путь, отсутствие юза колесных пар, удержание на уклоне) должны соответствовать нормативной документации и оценочным показателям по возможности применения колодок на эксплуатируемом подвижном составе.

2. Приведена последовательность нахождения эмпирической формулы коэффициента трения тормозных колодок UR 01-01 по результатам стендовых испытаний.

3. Определена зависимость коэффициента трения композиционных колодок UR 01-01 из безасбестового материала с твердыми чугуными вставками от силы нажатия и скорости торможения.

4. Композиционная колодка UR 01-01 обеспечивает соответствие нормативным значениям показателей длины тормозного пути, безюзового торможения и удержания на уклоне для электровоза серии ВЛ80.

5. На примере электровоза ВЛ80 показана возможность применения композиционных колодок UR 01-01 без изменения его рычажной передачи.

6. Для апробации полученной расчетной эмпирической зависимости коэффициента трения колодок UR 01-01 с целью внесения ее в Правила тяговых расчетов для поездной работы [5] необходимо проведение ходовых тормозных испытаний локомотивов, оборудованных данными колодками. Окончательно вопрос применимости колодок UR 01-01 для локомотивов должен быть решен после их комплексных испытаний на износостойкость и проведения технико-экономических исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Исследование изнашивания и его предотвращение в системе «тормозная колодка—колесо—рельс» / А. В. Шакина [и др.] // Известия Самарского научного центра РАН. 2012. Том 14. № 4 (5). С. 1335–1337.

2. ГОСТ 33421–2015. Колодки тормозные композиционные и металлокерамические для железнодорожного подвижного состава. Общие технические условия: межгос. стандарт: введен в действие в качестве нац. стандарта Российской Федерации приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 24 сент. 2019 г. № 747-ст: дата введения 2020-02-01. М.: Стандартинформ, 2019. 34 с.

3. ГОСТ 33695–2015. Колодки тормозные чугунные для железнодорожного подвижного состава: межгос. стандарт: принят Евразийским советом по стандартизации, метрологии и сертификации протоколом от 10 дек. 2015 г. № 48-2015. Минск, [2017]. 45 с.

4. Жаров И. А., Воронин И. Н. Перспективные показатели оценки работоспособности тормозных фрикционных пар // Вестник ВНИИЖТ. 2012. № 5. С. 36–39.

5. Правила тяговых расчетов для поездной работы: утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 12 мая 2016 г. № 867р. М.: ОАО «РЖД», 2016. 515 с.

6. Гребенюк П. Т., Долганов А. Н., Скворцова А. И. Тяговые расчеты: справочник. М.: Транспорт, 1987. 272 с.

7. ГОСТ 30249–97. Колодки тормозные чугунные для локомотивов. Технические условия: межгос. стандарт: введен в действие в качестве гос. стандарта Российской Федерации постановлением Государственного комитета Российской Федерации по стандартизации, метрологии и сертификации от 10 июня 1998 г. № 246: дата введения 1999-07-01. М.: Стандартинформ, 2005. 11 с.

8. Жаров И. А. Проблемы триботехнических инноваций на железнодорожном транспорте // Вестник ВНИИЖТ. 2007. № 5. С. 8–11.

9. Павлюков А. Э., Черепов О. В., Шалупина П. И. Тормозные колодки грузовых вагонов: анализ повреждаемости и факторов, влияющих на создание тормозной силы // Вестник Уральского гос. ун-та путей сообщения. 2017. № 4. С. 4–11.

10. Тормозная колодка железнодорожного транспортного средства: пат. 83817 Рос. Федерация: МПК В61Н 7/02 F16D 65/04 / А. И. Ворончихин, И. А. Налев, В. Н. Бычков. № 2009101264/22; заявл. 16.01.2009; опубл. 20.06.2009, Бюл. № 17. 6 с.

11. Химмельблау Д. М. Прикладное нелинейное программирование. М.: Мир, 1975. 536 с.

12. ГОСТ Р 55364–2012. Электровозы. Общие технические требования: нац. стандарт Российской Федерации: введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 19 дек. 2012 г. № 1916-ст: дата введения 2014-01-01. М.: Стандартинформ, 2013. 36 с.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

ГАБИДУЛЛИН Алексей Эрнестович, канд. техн. наук, руководитель проекта, ООО «ЛокоТех»

ГОРСКИЙ Дмитрий Вячеславович, руководитель группы, НЦ «НПСАП», АО «ВНИИЖТ»

НАЗАРОВ Игорь Викторович, заместитель директора НЦ «НПСАП» — начальник отдела «Нетяговый подвижной состав», АО «ВНИИЖТ»

НИКИТИН Владислав Альбертович, директор по развитию, АО «ФРИТЕКС»,

Статья поступила в редакцию 22.05.2020 г., принята к публикации 24.08.2020 г.

Для цитирования: Расчет зависимости коэффициента трения композиционных гребневых колодок для локомотивов от силы нажатия и скорости торможения / А. Э. Габидуллин [и др.] // Вестник ВНИИЖТ. 2020. Т. 79. № 6. С. 337–342. DOI: <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2020-79-6-337-342>.

Calculation of the dependence of friction coefficient of locomotive composite ridge brake shoes on pressing force and braking speed

A. E. GABIDULLIN¹, D. V. GORSKIY², I. V. NAZAROV², V. A. NIKITIN³

¹Limited Liability Company “Lokomotivnye Tekhnologii” (LLC “LokoTech”), Moscow, 109004, Russia

²Joint Stock Company “Railway Research Institute” (JSC “VNIIZHT”), Moscow, 129626, Russia

³Joint Stock Company “Plant of Friction and Heat Resistant Materials” (JSC “FRITEX”), Yaroslavl, 150003, Russia

Abstract. JSC “FRITEX” has developed non-asbestos ridge composite brake shoes UR 01-01 with a reduced coefficient of friction, which, in contrast to the cast iron ridge brake shoes currently used on locomotives, have high wear resistance and more stable frictional properties at high speeds. They are much lighter than tra-

ditional cast iron shoes, resulting in lower logistics costs and easier replacement by service departments.

However, the new materials used for the production of the shoe, as well as its innovative design, which combines the two types of materials, require a detailed study of its frictional properties. For

this, the braking modes of a locomotive equipped with UR 01-01 shoes were simulated in a full-scale unit of a brake mechanism on an inertial stand at fixed pressures and speeds. Based on the results of the experiments, the values of the friction coefficients of the brake shoes were determined and the dependence of the friction coefficient of the shoes on the pressing force and braking speed was established.

The data obtained were used in braking calculations for an electric locomotive of the VL80 series, including the determination of the braking distance, holding a single locomotive by the parking brake on a slope, and ensuring the antiskid braking due to higher values of the friction coefficient of the UR 01-01 shoe at high speeds. The composite ridge brake shoe ensures compliance with the standard values of the braking distance, antiskid braking and slope parking for the VL80 series electric locomotive. In this case, the use of these composite shoes is possible without changes in the device of the lever transmission of the electric locomotive.

It is necessary to conduct running brake tests to make approbation of obtained empirical dependence of the friction coefficient of new shoes on the pressing force and the braking speed of the locomotive and its widespread use in the calculation of brake systems.

Keywords: brake shoe; friction; braking efficiency; composite brake shoe UR 01-01

DOI: <https://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2020-79-6-337-342>

REFERENCES

1. Shakina A. V., Bilenko S. V., Fadeev V. S., Shtanov O. V. *Issledovanie iznashivaniya i ego predotvrashchenie v sisteme "tormoznaya kolodka—koleso—rel's"* [Investigation of wear and its prevention in the system "brake shoe—wheel—rail"]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN* [Bulletin of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences], 2012, Vol. 14, no. 4 (5), pp. 1335–1337.
2. GOST 33421–2015. *Composite and metal-ceramic brake shoes for railway rolling stock. General technical conditions*. Interstate standard, put into effect as national standard of the Russian Federation by order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology dated September 24, 2019 No. 747-st. Moscow, Standartinform Publ., 2019, 34 p. (in Russ.).
3. GOST 33695–2015. *Cast iron brake shoes for railway rolling stock*. Interstate standard, adopted by the Eurasian Council for Standardization, Metrology and Certification by the Protocol dated December 10, 2015 No. 48-2015. Minsk, [2017]. 45 p.
4. Zharov I. A., Voronin I. N. *Perspektivnye pokazateli otsenki rabotosposobnosti tormoznykh friktsionnykh par* [Perspective indicators for assessing the performance of brake friction pairs]. *Vestnik VNIIZhT* [Vestnik of the Railway Research Institute], 2012, no. 5, pp. 36–39.

5. *Rules for traction calculations for train operation*. Approved by order of the JSC "Russian Railways" dated May 12, 2016 No. 867r. Moscow, JSC "Russian Railways", 2016, 515 p. (in Russ.).

6. Grebenyuk P. T., Dolganov A. N., Skvortsova A. I. *Tyagovye raschety: spravochnik* [Traction calculations: reference book]. Moscow, Transport Publ., 1987, 272 p.

7. GOST 30249–97. *Cast iron brake blocks for locomotives. Specifications*. Interstate standard, put into effect as state standard of the Russian Federation by the resolution of the State Committee of the Russian Federation for standardization, metrology and certification dated June 10, 1998 No. 246. Moscow, Standartinform Publ., 2005, 11 p. (in Russ.).

8. Zharov I. A. *Problemy tribotekhnicheskikh innovatsiy na zheleznodorozhnom transporte* [Problems of tribotechnical innovations in railway transport]. *Vestnik VNIIZhT* [Vestnik of the Railway Research Institute], 2007, no. 5, pp. 8–11.

9. Pavlyukov A. E., Cherepov O. V., Shalupina P. I. *Tormoznye kolodki gruzovykh vagonov: analiz povrezhdaemosti i faktorov, vliyayushchikh na sozdanie tormoznoy sily* [Brake shoes of freight cars: analysis of damage and factors affecting the creation of braking force]. *Vestnik Ural'skogo gos. un-ta putey soobshcheniya* [Bulletin of the Ural State University of Railways], 2017, no. 4, pp. 4–11.

10. Voronchikhin A. I., Nalev I. A., Bychkov V. N. *Tormoznaya kolodka zheleznodorozhnogo transportnogo sredstva. Patent 83817 Rossiyskaya Federatsiya* [Brake shoe of a railway vehicle. Patent 83817 Russian Federation]. No. 2009101264/22, publ. June 20, 2009, Bull. no. 17, 6 p. (in Russ.).

11. Khimmel'blau D. M. *Prikladnoe nelineynoe programmirovaniye* [Applied nonlinear programming]. Moscow, Mir Publ., 1975, 536 p.

12. GOST R 55364–2012. *Electric locomotives. General technical requirements*. National standard of the Russian Federation, entered into force by order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology dated December 19, 2012 No. 1916-st. Moscow, Standartinform Publ., 2013, 36 p. (in Russ.).

ABOUT THE AUTHORS

Aleksey E. GABIDULLIN,

Cand. Sci. (Eng.), Project Manager, LLC "LokoTech"

Dmitriy V. GORSKIY,

Head of the Group, SC "NPSAP", JSC "VNIIZHT"

Igor' V. NAZAROV,

Deputy Director of the SC "NPSAP" — Head of the Department "Non-Traction Rolling Stock", JSC "VNIIZHT"

Vladislav A. NIKITIN,

Development Director, JSC "FRITEX"

Received 22.05.2020

Accepted 24.08.2020

■ E-mail: gorskiy.dmitry@vniizht.ru (D. V. Gorskiy)

For citation: Gabidullin A. E., Gorskiy D. V., Nazarov I. V., Nikitin V. A. Calculation of the dependence of friction coefficient of locomotive composite ridge brake shoes on pressing force and braking speed // *VNIIZHT Scientific Journal*. 2020. 79 (6): 337–342 (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2020-79-6-337-342>.

ВЫШЛИ В СВЕТ ТРУДЫ ВНИИЖТ

Максимов И. Н., Кондрашов В. М. Альтернативные методы исследования динамики железнодорожных экипажей. М.: РАС, 2019. 108 с.

В книге подробно изложена методика исследования динамики железнодорожных экипажей, в основе которой лежит оригинальный подход к моделированию движения колесных пар железнодорожных экипажей в рельсовой колее, позволяющий реализовывать движение экипажей любой осности в прямых и кривых участках пути в режимах выбега, тяги и торможения.

Книга рассчитана на научных и инженерно-технических работников железнодорожного транспорта, также может быть полезна преподавателям и студентам транспортных вузов.

По вопросам приобретения книги обращаться по адресу: 129626, г. Москва, 3-я Мытищинская ул., д. 10, редакционно-издательский отдел АО «ВНИИЖТ».

Тел.: (499) 260-43-20, e-mail: rio@vniizht.ru, www.vniizht.ru.