

УДК 62-597.3:629.4-592

С. Г. ИНАГАМОВ

Белорусский государственный университет транспорта, Гомель, Беларусь

ФРИКЦИОННЫЙ УЗЕЛ КОЛОДОЧНОГО ТОРМОЗА ЛОКОМОТИВОВ И ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ

Предложена секционная тормозная колодка для грузовых вагонов и локомотивов и показаны ее преимущества при использовании в фрикционном узле подвижного состава. Приведен расчет коэффициентов трения и удельной тормозной силы реализуемой комбинированными колодками нового типа для диапазона скоростей движения поезда. Выполненные расчеты продемонстрировали, что предлагаемые тормозные колодки могут быть рекомендованы для дальнейшего изучения и внедрения в эксплуатацию железных дорог.

Ключевые слова: торможение, композиционная и чугунная колодки, коэффициент трения, сила нажатия, тормозная сила.

Стратегия развития железнодорожного транспорта предусматривает расширение тяжеловесного и скоростного движения грузовых вагонов. Увеличение скорости и осевой нагрузки вагона требует совершенствования тормозных систем локомотивов и вагонов, в частности, фрикционного узла. На подвижном составе железных дорог широкое распространение получила система торможения с помощью тормозных колодок, прижимаемых к поверхности катания колеса. Грузовой подвижной состав железных дорог всего мира практически полностью оснащен такими тормозами. На локомотивах чаще всего применяются чугунные колодки. Однако перспективно применение композиционных колодок, которые повсеместно используются на грузовых вагонах, а в последнее время применяются и на локомотивах.

В процессе торможения поезда фрикционным тормозом происходит преобразование кинетической энергии в тепловую, а в зоне контакта тормозной колодки и поверхности катания колеса происходит износ как колодки, так и колеса. В процессе износа фрикционных поверхностей образуется стружка металла и дефекты на поверхности колодок и колес. При эксплуатации композиционных и чугунных тормозных колодок на железных дорогах Узбекистана выявлены следующие дефекты: вырыв и раковины материала-наполнителя колодки (35 % колодок), наволакивание металла с поверхности катания колеса на рабочую поверхность тормозной колодки (33 %), клиновидный износ (острием вверх, вниз) композиционных колодок (выявлен у 11,7 % колодок), износ от провисания композиционных колодок (имеют до 4,5 % колодок), излом верхние (нижние) части чугунной колодки 4 % [1, 2].

Тепловой режим работы тормозных устройств считается легким, если объемная температура тормозной колодки и обода колеса не превышает 100 °С, средняя температура поверхности трения 200 °С, а максимальная температура в контакте 250 °С [3]. При торможении с максимальной скорости полногрузных вагонов температура в объеме материалов фрикционного узла достигает 250 °С, на поверхности трения 400 °С, а на фактических пятнах контакта при среднем тепловом режиме 500 °С [4, 5].

Конструкция фрикционного элемента (колодки) имеет большое значение для создания оптимального теплового режима в узле трения. Распределение тепловых потоков, нагрев колеса фрикционной колодки, зависят от характеристики трущихся материалов [3]. Колодки из материала «Диафрикт К4» обеспечивают постоянный коэффициент трения до температуры 450 °С, а при краткосрочных остановочных торможениях – до температуры 800 °С [6, 7].

Геометрические параметры фрикционного элемента трущейся пары определяются в первую очередь конфигурацией контртела, которую представляют поверхность катания колеса или поверхность диска. Форма и размеры тормозных колодок и накладок играют существенную, а иногда и решающую роль в формировании основных характеристик тормоза.

Факторы, влияющие на распределение контактных давлений между колесом и тормозной колодкой:

- соответствие геометрической формы и размеров колеса и колодки;
- возможная деформация колодки за счет сил нажатия;
- температурные деформации колодки, обусловленные нагревом в процессе торможения;
- износ колодки за время торможения;
- износ колеса.

Конструкция и способы крепления чугунных и композиционных тормозных колодок остаются неизменными на протяжении десятилетий. Имеются некоторые отличия в линейных размерах. По форме и размерам отличаются колодки, предназначенные для отдельных типов подвижного состава.

Автором предложен трехсекционный фрикционный узел колодочного тормоза для локомотивов и грузовых вагонов (рисунок 1). Колодка состоит из трех композиционных или чугунных блоков, закрепляющихся в башмаке. Длина каждого блока $L_{c1} = 130$ мм без учета выемки между секциями блока, $L_{c1} = 120$ мм, радиус поверхности трения – 530 мм. Соответственно, площадь трения нового блока $S_{k1} = 0,0096$ м². По мере износа, как и у серийных колодок, площадь трения увеличивается и достигает $S_{k1} = 0,0103$ м² при толщине колодки 65 мм, ширине 80 мм.

Выбор материала блока зависит от условий эксплуатации, так как тормозные колодки из чугуна и композиционного материала имеют свои достоинства и недостатки. Для получения оптимального результата рассмотрим варианты компоновки тормозной колодки (таблица 1) из трех отдельных не зависящих друг от друга блоков.

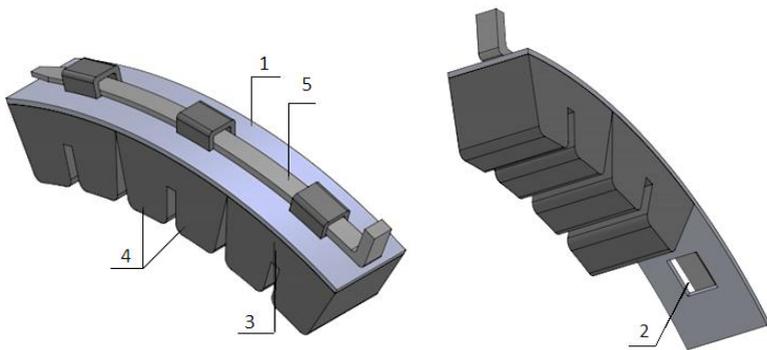


Рисунок 1 – Предлагаемая тормозная колодка:
 1 – металлический каркас; 2 – отверстия для крепления блоков;
 3 – основа блока; 4 – секции блока; 5 – чека

Таблица 1 – Варианты формирования тормозной колодки

Вариант компоновки	Материал блоков	Площадь трения, см ²	
		новых	изношенных
1	2 композитных	192	206
	1 чугунный	96	103
2	1 композитный	192	206
	2 чугунных	96	103
3	3 чугунных	288	309
4	3 композитных	288	309

Коэффициент трения показывает соотношение между тормозной силой и силой нажатия фрикционного элемента на контртело. Его величина зависит от материала трущихся тел, давления в контакте, скорости трения, наличия влаги или смазки между ними. Коэффициент трения между колесом и рельсом принимают равным 0,25 [8]. Весьма сложно количественно оценивать влияние большинства случайных факторов на значение коэффициента трения тормозных колодок. Он отличается при различных силах нажатия и разных скоростях торможения, от этого зависит температура нагрева фрикционного элемента и обода колеса в зоне их контакта. Поэтому используемые для тормозных расчетов формулы коэффициента трения носят эмпирический характер. Известно, что коэффициент трения зависит от площади трения, поэтому целесообразно установить его зависимость от удельной силы нажатия, а не от ее равнодействующей, поскольку площадь трения колодки может быть разной по мере износа [3].

При осевой нагрузке локомотива 245 кН применяются секционные композиционные тормозные колодки при одностороннем нажатии, имеющие высокий коэффициент трения [9]. Коэффициент трения зависит от силы нажатия колодок K и скорости v [10, 11]:

– для чугунных колодок

$$\varphi_{\text{кч}} = 0,5 \cdot \frac{1,6K + 100}{5,2K + 100} \cdot \frac{v + 100}{5v + 100}; \quad (1)$$

– для композиционных –

$$\varphi_{\text{кк}} = 0,44 \cdot \frac{0,1K + 20}{0,4K + 20} \cdot \frac{v + 150}{2v + 150}. \quad (2)$$

Представим связь силы нажатия с допустимым давлением p :

$$p = \frac{K}{S_{\text{кк}} + S_{\text{кч}}},$$

где $S_{\text{кк}}$, $S_{\text{кч}}$ – площадь композиционных и чугунных блоков колодки соответственно.

Поскольку размеры колодки определяются размерами блоков, то формулы (1) и (2) применительно к чугунным и композиционным блокам приобретают следующий вид:

$$\varphi_{\text{кч}} = 0,5 \cdot \frac{1,6pS_{\text{кч}} + 100}{5,2pS_{\text{кч}} + 100} \cdot \frac{v + 100}{5v + 100}; \quad (3)$$

$$\varphi_{\text{кк}} = 0,44 \cdot \frac{0,1pS_{\text{кк}} + 20}{0,4pS_{\text{кк}} + 20} \cdot \frac{v + 150}{2v + 150}. \quad (4)$$

Учитывая, что гибридная колодка одновременно имеет блоки из композиционного материала и чугуна, полагаем, что сила нажатия распределяется по площади трения всех блоков равномерно (рисунок 2).

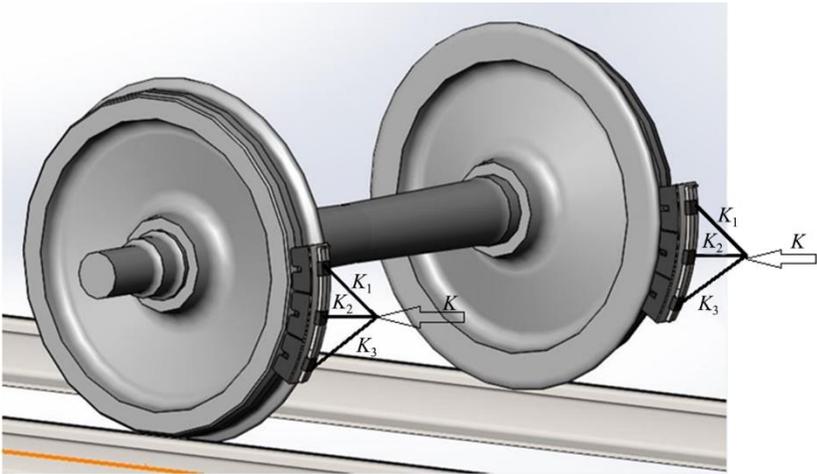


Рисунок 2 – Распределение силы нажатия K на комбинированную тормозную колодку по блокам

Поскольку максимальное допустимое значение давления на чугунную колодку составляет 1,3 МПа, а на композиционную – 0,9 МПа, при использовании комбинированных тормозных колодок следует принять меньшее значение $p = 0,9$ МПа. Тогда, учитывая, что суммарная площадь трения одинакова для всех рассматриваемых вариантов, для комбинированных и композиционных колодок получаем силу нажатия

$$K_{\text{доп}} = p \cdot (S_{\text{кк}} + S_{\text{кч}}) = 0,9 \cdot 10^6 \cdot 288 \cdot 10^{-4} = 25920 \text{ Н.}$$

Допустимая сила нажатия на чугунную тормозную колодку

$$K_{\text{доп}} = p \cdot S_{\text{кч}} = 1,3 \cdot 10^6 \cdot 288 \cdot 10^{-4} = 37440 \text{ Н.}$$

Подстановка значений в формулы (3) и (4) для первого варианта комбинированной колодки дает

$$\varphi_{\text{кч}} = 0,5 \cdot \frac{1,6 \cdot 900 \cdot 0,0096 + 100}{5,2 \cdot 900 \cdot 0,0096 + 100} \cdot \frac{v + 100}{5v + 100} = 0,393 f_{\text{ч}}(v);$$

$$\varphi_{\text{кк}} = 0,44 \cdot \frac{0,1 \cdot 900 \cdot 0,0192 + 20}{0,4 \cdot 900 \cdot 0,0192 + 20} \cdot \frac{v + 150}{2v + 150} = 0,355 f_{\text{к}}(v).$$

Здесь $f_{\text{ч}}(v) = \frac{v + 100}{5v + 100}$; $f_{\text{к}}(v) = \frac{v + 150}{2v + 150}$.

Результаты расчетов коэффициентов трения частей тормозной колодки для всех рассматриваемых вариантов сведены в таблицу 2.

Таблица 2 – Расчетные значения коэффициентов трения

Вариант компоновки	Допустимая сила нажатия $K_{\text{доп}}$, кН	Блоки колодки	Коэффициент трения
1	25,92	1 чугунный	$0,393 f_{\text{ч}}(v)$
		2 композитных	$0,355 f_{\text{к}}(v)$
2	25,92	2 чугунных	$0,336 f_{\text{ч}}(v)$
		1 композитный	$0,391 f_{\text{к}}(v)$
3	37,44	3 чугунных	$0,327 f_{\text{ч}}(v)$
4	25,92	3 композитных	$0,333 f_{\text{к}}(v)$

На рисунках 3 представлены зависимости коэффициентов трения от скорости движения для максимально допустимых сил нажатия и при значении $K = 10$ кН. Из них видно, что наиболее высокие значения коэффициента трения соответствуют композиционным блокам варианта 2.

Проанализируем удельную тормозную силу $b_{\text{т}}$, реализуемую предложенными колодками

$$b_{\text{т}} = \frac{np(S_{\text{кк}}\varphi_{\text{кк}} + S_{\text{кч}}\varphi_{\text{кч}})}{q_0},$$

где n – количество тормозных колодок на оси, $n = 2$; q_0 – осевая нагрузка, $q_0 = 23,5$ т/ось.

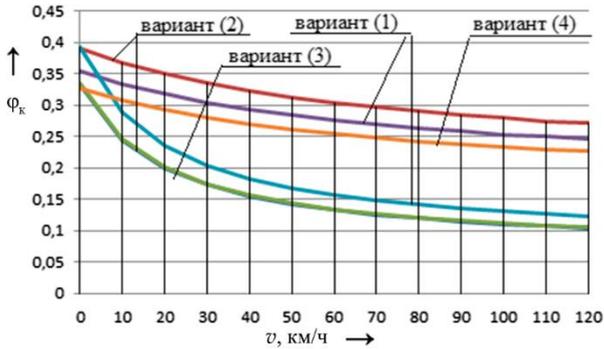


Рисунок 3 – Зависимость коэффициента трения от скорости движения при максимально допустимых силах нажатия

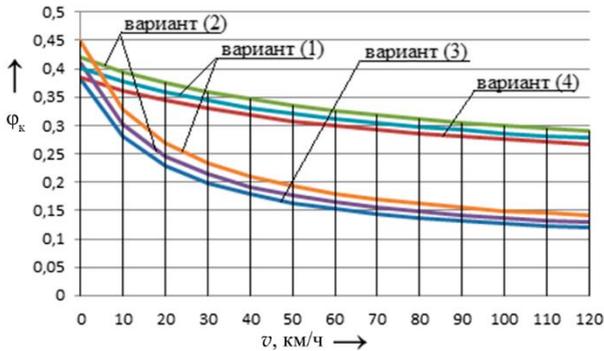


Рисунок 4 – Зависимость коэффициента трения от скорости движения при силе нажатия $K = 10$ кН

Она не должна превышать удельную тормозную силу $[b_T]$, допускаемую по условиям сцепления,

$$[b_T] \leq [b_T] = g\psi k_c,$$

где g – ускорение свободного падения; ψ – расчетный коэффициент сцепления; k_c – коэффициент использования запаса по сцеплению, учитывающий резерв мощности при экстренном торможении для грузовых вагонов, который принимается равным 0,85.

Для оценки резерва мощности эксплуатируемых и перспективных тормозов применяют безразмерный критерий – коэффициент использования запаса по сцеплению $k_c(v)$ при экстренном торможении [3]

$$k_c(v) = \frac{b_T(v)}{[b_T(v)]}.$$

На рисунках 5 и 6 представлены графики зависимостей удельной тормозной силы и коэффициента использования запаса по сцеплению от скорости для рассмотренных вариантов компоновки колодок. Из них видно, что комбинированные колодки обеспечивают промежуточные характеристики между чугунными и композиционными колодками.

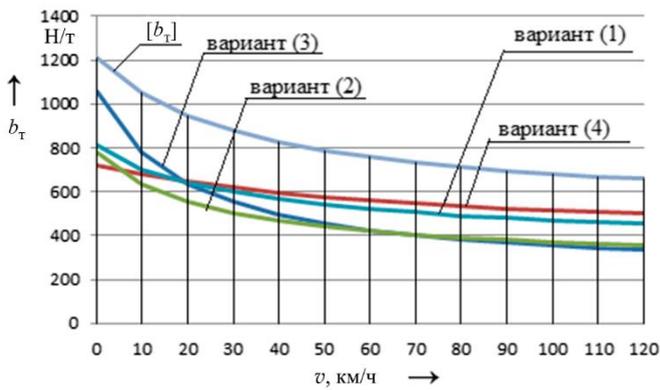


Рисунок 5 – Зависимости удельной тормозной силы от скорости

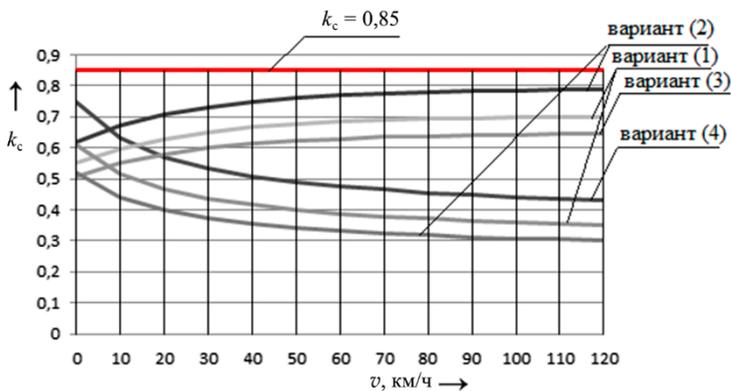


Рисунок 6 – Коэффициенты использования запаса по сцеплению

Таким образом, в работе предложена комбинированная тормозная колодка для подвижного состава, включающая композиционные и чугунные блоки. Применение чугунных вставок наряду с композиционными позволяет облегчить тепловую нагрузку на фрикционный узел при длительном процессе торможения. Для рассмотренной компоновки колодок рассчитана тормозная сила, обеспечиваемая при допуске давлении до 0,9 МПа.

Предлагаемая конструкция может применяться в первую очередь на локомотивах и грузовых вагонах, эксплуатируемых на горных участках железных дорог.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 АО «Узбекистан темир йуллари». Отчет-анализ о состоянии безопасности движения поездов управления вагонного хозяйства 2017–2019 годы. – Ташкент, 2020.
- 2 **Галай, Э. И.** Оценка работы тормозного оборудования грузовых вагонов на участке Ангрэн–Пап АО «Узбекские железные дороги» / Э. И. Галай, С. Г. Инагамов, А. А. Юлдашов // *Механика. Исследования и инновации.* – 2020. – Вып. 13. – С. 47–54.
- 3 **Галай, Э. И.** Тормозные системы железнодорожного транспорта. Расчет пневматических тормозов / Э. И. Галай, Е. Э. Галай, П. К. Рудов. – Гомель : БелГУТ, 2014. – 271 с.
- 4 **Галай, Э. И.** Тепловой расчет фрикционных узлов тормоза грузовых вагонов / Э. И. Галай, П. К. Рудов, Е. Э. Галай // *Механика. Исследования и инновации.* – 2018. – Вып. 11. – С. 31–40.
- 5 **Балакин, В. А.** Тепловой режим фрикционного тормоза большой мощности в переходном периоде нарастания тормозной силы / В. А. Балакин, Э. И. Галай // *Трение и износ.* – 1999. – Т. 20, № 2. – С. 137–143.
- 6 **Вуколов, Л. А.** Сравнительные фрикционные характеристики металлокерамических и полимерных композиционных тормозных колодок / Л. А. Вуколов, В. А. Жаров // *Вестник ВНИИЖТ,* 1999. – № 4. – С. 19–24.
- 7 **Шакина, А. В.** Разработка эффективной технологии получения вагонной тормозной колодки из металлокерамического фрикционного материала : дис. ... канд. техн. наук : 05.16.09 / А. В. Шакина. – Комсомольск-на-Амуре, 2014. – 159 с.
- 8 Вагоны грузовые. Требования к прочности и динамическим качествам : ГОСТ 33211–2014. – Введ. 2016–07–01. – М. : Стандартинформ, 2016. – 58 с.
- 9 **Галай, Э. И.** Композиционные тормозные колодки со вставками из специального чугуна / Э. И. Галай, П. К. Рудов, Е. Э. Галай // *Механика. Исследования и инновации.* – 2019. – № 12. – С. 41–47.
- 10 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.
- 11 **Рудов, П. К.** Расчет тормозов вагонов / П. К. Рудов. – Гомель : БелГУТ, 2010. – 90 с.

S. G. INAGAMOV

Belarusian State University of Transport, Gomel, Belarus

FRICITION UNIT OF THE BODY BRAKE OF LOCOMOTIVES AND FREIGHT CARS

A sectional brake shoe for freight cars and locomotives is proposed and the advantages of its usage in the frictional unit of a rolling stock is shown. The calculation of the coefficients of friction and the specific braking force implemented by the combined pads of a new type for the train speed range is given. The performed calculations show that the proposed brake pads can be recommended for further study and implementation in the operation of railways.

Keywords: braking, composite and cast iron pads, coefficient of friction, pressing force, braking force.

Получено 01.06.2021