

ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ТРАНСПОРТА

УДК 629.42.62.-592.52

Э. И. ГАЛАЙ, доктор технических наук, П. К. РУДОВ, кандидат технических наук, Е. Э. ГАЛАЙ, научный сотрудник, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТОРМОЖЕНИЯ ЛОКОМОТИВОВ ПНЕВМАТИЧЕСКИМ ТОРМОЗОМ

Электровозы и тепловозы, работающие на Белорусской ж. д., оснащаются чугунными тормозными колодками, в том числе гребневыми, часть локомотивов оборудуется секционными композиционными колодками. Расчет тормозной силы производится по формулам для стандартных вагонных колодок, которые имеют меньшую площадь трения и другой профиль. Проведены теоретические исследования по определению удельной тормозной силы для локомотивных чугунных колодок.

На Белорусской железной дороге локомотивы оснащены, как правило, гребневыми чугунными тормозными колодками из серого чугуна марки М с содержанием фосфора 0,4–0,9 % [1]. У тепловозов, имеющих бесчелюстные тележки, применяется двухстороннее нажатие колодок на колеса. Тепловозы со старыми челюстными тележками имеют рычажную передачу с одной колодкой на колесо. От этого во многом зависит допускаемая величина силы нажатия, определяемая при проектировании по условиям сцепления. В частности, сила нажатия на колодку (максимальная) при двухстороннем нажатии составляет около 30–35 кН, а при одностороннем – до 80 кН и больше.

Электровозы, как правило, имеют двухстороннюю схему торможения и силу нажатия 35–40 кН. Следует отметить, что в эксплуатации тормозная сила грузовых локомотивов зависит от максимальной скорости, с которой будет следовать поезд. При ведении грузовых поездов (порожних или груженых) со скоростью не более 90 км/ч воздухораспределители грузового локомотива включаются на порожний режим, и сила нажатия колодок не превышает 12–15 кН при двухсторонней или 20–25 кН при односторонней схеме торможения, а если предусмотрено движение со скоростью более 90 км/ч, воздухораспределитель на локомотиве следует включать на груженный режим. Кроме того, тормозная сила локомотива при необходимости может быть увеличена до максимума приведением в действие крана вспомогательного тормоза № 254. Это особенно важно при установке порожнего режима воздухораспределителя. Такое переключение режимов принято в «Правилах технического обслуживания тормозного оборудования и управления тормозами железнодорожного подвижного состава», утвержденных Советом по железнодорожному транспорту государств – участников Содружества (протокол от 6–7 мая 2014 г. № 60).

На современных локомотивах, например грузовых электровозах БКГ-1 и БКГ-2, изготовленных электровозостроительным заводом в г. Датун (КНР) для Белорусской ж. д. и рассчитанных на осевую нагрузку 245 кН, применяются секционные композиционные тормозные колодки при одностороннем нажатии. Каждая колодка приводится в действие от своего тормозного цилиндра и имеет высокий коэффициент трения $\varphi_k = 0,25 \dots 0,30$.

Зависимость коэффициента трения от скорости с соотношением $\varphi_{kmax} / \varphi_{kmin} = 1,2$ не обеспечивает тормозную силу вспомогательного тормоза локомотива, достаточную для удержания поезда с отпущенными тормозами при трогании с места на уклоне больше 3 ‰. Это касается поездов массой 5–6 тыс. т.

Колодочный тормоз обеспечивает очистку поверхности катания, в результате повышается коэффициент сцепления колеса с рельсом, однако при торможении с высоких скоростей в зоне трения возникают повышенные термические нагрузки, особенно на груженом режиме. При чугунных колодках около 20–25 % тепловой энергии отводится через колодки, а коэффициент трения резко уменьшается при высокой скорости и максимальной силе нажатия.

Тормозные колодки бывают различной конфигурации, имеют разную площадь трения, что обеспечивает различную эффективность торможения даже при одинаковом содержании всех компонентов в составе колодки. В частности, для повышения тормозной эффективности локомотивов и реализации максимальной тормозной силы применяют профильную гребневую колодку с повышенным содержанием фосфора типа Р или М по ГОСТ 30249–97. Такая конструкция обеспечивает снижение термического воздействия на поверхность катания колеса и в то же время предохраняет фрикционный узел от сползания колодки.

Гребневые колодки локомотивов типа М имеют 0,4–0,9 % фосфора, их отливают из природно-легированных чугунов, содержащих 0,3–0,6 % хрома и 0,15–0,30 % никеля. На некоторых локомотивах, обращающихся в поездах со скоростями 120 км/ч и более, применяются секционные чугунные тормозные колодки длиной 234 мм.

Коэффициент трения локомотивных тормозных колодок типа М определяется по формуле [2]

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

где K – сила нажатия колодки, кН; v – скорость движения локомотива, для которой рассчитывается коэффициент трения колодки, км/ч.

Расчет φ_k производится для стандартных вагонных чугунных колодок, имеющих площадь трения $F =$

$= 0,0305 \text{ м}^2$. Расчетное нажатие чугунных тормозных колодок большинства тепловозов на груженом режиме составляет 12 т/ось, а на порожнем – 5 т/ось. Для электровозов, имеющих большую осевую нагрузку, сила нажатия равна, соответственно, 14 и 6 т/ось. Это относится к локомотивам, имеющим различные рычажные передачи с одной или двумя колодками на колесо.

Локомотивы с одной колодкой на колесо имеют значительно большую силу нажатия колодки (в 2 раза или больше), в то же время эффективность торможения может оказаться меньше, чем при двухстороннем нажатии.

Тормозные колодки гребневые типа М или Р (рисунок 1) для локомотивов имеют ориентировочно площадь трения $F = 0,0476 \text{ м}^2$ при длине колодки $L = 340 \text{ мм}$. Таким образом, площадь трения гребневой колодки значительно больше, чем у стандартной чугунной колодки.

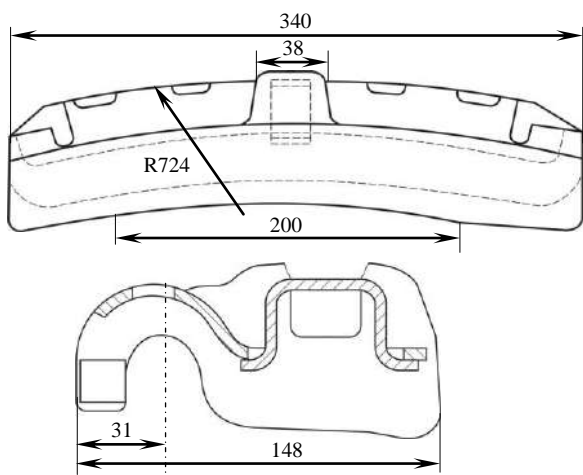


Рисунок 1 – Тормозная колодка гребневая для локомотивов

Одной из характеристик коэффициента трения является его зависимость от величины удельной силы нажатия (давления) $p = K/F$ в контакте «колодка – колесо». Распределение и величина давлений в процессе торможения изменяются в зависимости от силы нажатия, скорости движения, площади трения, физико-химических, механических и габаритных характеристик фрикционного узла. Все перечисленные показатели не могут быть учтены при расчетах коэффициента трения. В настоящее время в формуле обычно учитывается сила нажатия K и скорость движения v . Таким образом,

$$\varphi_k = \alpha \varphi_k(K) \varphi_k(v). \quad (2)$$

Влияние остальных факторов заложено в величине коэффициента α , входящего в формулу (2).

Конструкция колодочного фрикционного узла должна обеспечивать равномерное распределение силы нажатия по площади контакта. В то же время гребневая колодка не может отвечать такому условию. Поэтому для упрощения можно принять ширину дорожки трения с учетом гребня 140 мм. Ориентировочно длина фрикционного контакта приработанной колодки составляет 340 мм.

Подсчитаем коэффициент трения с учетом конструкции колодки, поскольку это фактор, способствующий повышению или уменьшению удельной силы нажатия и изменению коэффициента трения.

Чугунные колодки отличаются крутопадающей характеристикой зависимости коэффициента трения от скорости $\varphi_k(v)$. Рассматривая зависимость φ_k от силы нажатия, т. е. $\varphi_k(K)$, отметим, что она принята для локомотивной безгребневой тормозной колодки из серого чугуна с содержанием фосфора 0,4–0,9 %, имеющей площадь трения $F = 0,0305 \text{ м}^2$, как и стандартные чугунные колодки, применяемые на вагонах, хотя очевидно, что процесс трения и зависимость φ_k от скорости и силы нажатия гребневой колодки с площадью трения $0,0476 \text{ м}^2$ будет отличаться.

Выразим $\varphi_k(K)$ через зависимость $\varphi_k(p)$, принимая $K = 10^3 p F_r$. Тогда

$$p = \frac{K}{10^3 F_r}, \quad (3)$$

где p – давление колодки на колесо при торможении, МПа; F_r – площадь трения гребневой колодки, м^2 .

Следовательно,

$$\varphi_k(K) = \varphi_k(p) = 0,5 \frac{1,6 \cdot 10^3 p F_r + 100}{5,2 \cdot 10^3 p F_r + 100}. \quad (4)$$

Подставляя в формулу значение площади трения $F_r = 0,0476 \text{ м}^2$, получим функцию зависимости коэффициента трения от удельной силы нажатия и скорости для гребневой колодки типа М:

$$\varphi_k = 0,5 \frac{76,16 p + 100}{247,52 p + 100} \cdot \frac{v + 100}{5v + 100}. \quad (5)$$

Теоретические характеристики процесса торможения на площадке одиночного локомотива с гребневыми тормозными колодками при φ_k , рассчитанном по формуле (5), приведены на рисунках 2–4.

Величина допускаемого давления тормозной колодки на поверхность катания колеса для чугунных колодок с содержанием фосфора 0,4–0,9 % составляет 1 МПа при скорости начала торможения до 120 км/ч и 0,7 МПа при скорости до 160 км/ч [2]. Таким образом, максимальная допускаемая сила нажатия на гребневую тормозную колодку (при двухстороннем нажатии) – 47,6 кН, а для скоростных локомотивов – 33,3 кН.

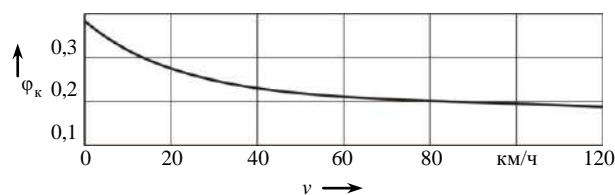


Рисунок 2 – Коэффициент трения гребневой тормозной колодки типа М

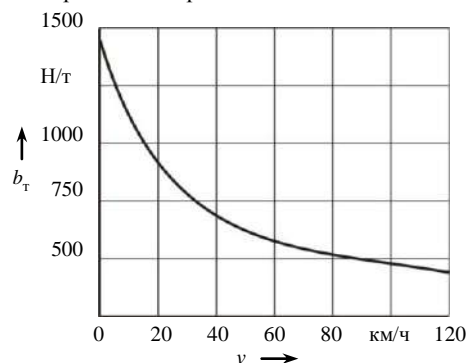


Рисунок 3 – Удельная тормозная сила локомотива с гребневыми колодками

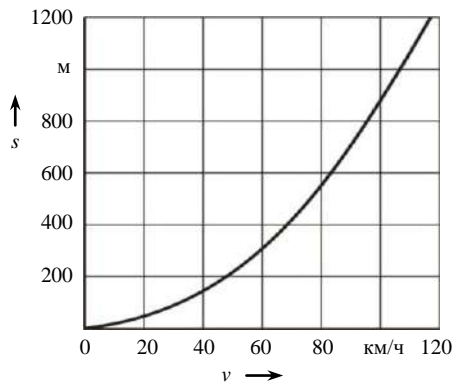


Рисунок 4 – Тормозной путь локомотива с гребневыми колодками при $i = 0 ‰$ и максимальном давлении в ТЦ

Фактически по условиям сцепления сила нажатия принимается меньшей, поскольку чугунные колодки отличаются крутопадающей характеристикой зависимости коэффициента трения от скорости. Исследования ВНИИЖТа показали, что формула (1) адекватно отражает зависимость $\varphi_k(K, v)$ при скорости от 0 до 65 км/ч. При большей скорости коэффициенты трения оказываются ниже. Это объясняется тем, что в формуле не учтено влияние температуры в зоне контакта, а величина коэффициента трения в значительной степени зависит от тепловой нагруженности фрикционного узла, поэтому при начальных скоростях свыше 100 км/ч коэффициент трения для колодок из фосфористого чугуна должен учитывать начальную скорость торможения и может быть рассчитан по формуле (5). Его величина при торможении такими колодками с высоких скоростей оказывается выше, чем при торможении с низких скоростей, так как φ_k зависит от температуры, возникающей в зоне трения.

Характерно, что наибольшая тормозная эффективность фосфористых колодок достигается при высокой температуре зоны трения (выше 300 °С), поэтому такие колодки целесообразно применять для скоростного подвижного состава ($v > 110$ км/ч). В частности, для колодок из высокофосфористого чугуна типа Р коэффициент трения которых с учетом повышенной температуры фрикционного узла может быть рассчитан по формуле В. А. Жарова при начальной скорости торможения более 100 км/ч [4], формула несколько упрощена:

$$\varphi_k = 0,209 - 3,4 \cdot 10^{-3} K - 3,71 \cdot 10^{-4} v_i + 4,09 \cdot 10^{-4} v_n,$$

Получено 21.09.2017

Е. I. Halai, P. K. Rudau, E. E. Halai. Efficiency of braking of locomotives pneumatic brake.

Locomotives working on Belarusian railway are equipped with pig-iron brake shoes, including grebnevy, a part of locomotives is equipped with section composition receptacles. Calculation of brake force is made on formulas for standard carriage receptacles which have the smaller area of friction and other profile. Theoretical researches on determination of specific brake force for locomotive pig-iron receptacles are conducted.

где v_i – мгновенное значение скорости, для которой рассчитывается коэффициент трения, км/ч; v_n – начальная скорость торможения, км/ч.

Если сила нажатия $K = 30$ кН (тепловоз с двухсторонним нажатием), то при максимальной скорости $v_n = 120$ км/ч $\varphi_k = 0,1117$, при скорости 140 км/ч $\varphi_k = 0,112$, а при скорости 160 км/ч $\varphi_k = 0,113$ (рисунок 5).

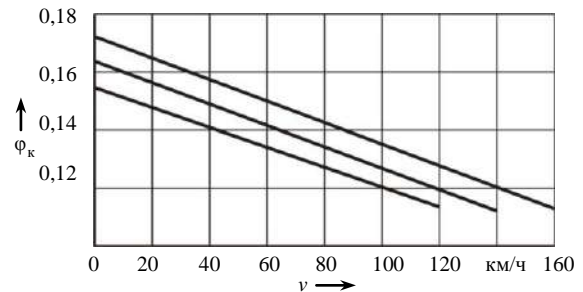


Рисунок 5 – Зависимость коэффициента трения тормозных колодок из высокофосфористого чугуна от скорости ($K = 30$ кН, двухстороннее нажатие):

1 – $v = 120$ км/ч; 2 – $v = 140$ км/ч; 3 – $v = 160$ км/ч

Удельная тормозная сила поезда несколько меньше, чем тормозная сила отдельного локомотива со включенным груженным режимом. Это связано с тем, что грузовые вагоны имеют одностороннюю схему прижатия композиционных тормозных колодок, и воздухораспределители в поезде включены на средний режим.

Список литературы

- 1 Тормозное оборудование железнодорожного подвижного состава : справ. / В. И. Крылов [и др.]. – М. : Транспорт, 1989. – 487 с.
- 2 **Гребенюк, П. Т.** Тяговые расчеты / П. Т. Гребенюк, А. Н. Долганов, А. И. Скворцова. – М. : Транспорт, 1987. – С. 51–52.
- 3 **Жаров, В. А.** Определение коэффициентов трения тормозных колодок из высокофосфористого чугуна // Эксплуатация автотормозов на подвижном составе железных дорог : сб. науч. тр. / ВНИИЖТ. – М., 1989. – С. 117–120.
- 4 **Bauer, H.** Glasers Annalen / H. Bauer // Фрикционные материалы для тормозов. – 1999. – № 11/12. – С. 472–475.
- 5 **Асташкевич, Б. М.** Перспективные материалы для тормозных колодок / Б. М. Асташкевич, К. Р. Чайковский // Электрическая и тепловозная тяга. – 1992. – № 2. – С. 32(6)