

А. В. ДОНЧЕНКО, Ю. Я. ВОДЯННИКОВ, А. М. САФРОНОВ,
Т. В. ШЕЛЕЙКО (ГП «УкрНИИВ», Кременчуг)

РАСЧЕТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО УЛУЧШЕНИЮ ТОРМОЗНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГРУЗОВОГО ВАГОНА С РАЗДЕЛЬНЫМ ТОРМОЖЕНИЕМ ТЕЛЕЖЕК

Наведено результати розрахункових досліджень щодо вибору значень передаточних чисел, за яких гальмівна ефективність та гальмівні характеристики вантажного вагона з роздільним гальмуванням візків задовольняють нормативним вимогам.

Представлены результаты расчетных исследований по выбору значений передаточных чисел, при которых тормозная эффективность и тормозные характеристики грузового вагона с раздельным торможением тележек удовлетворяют нормативным требованиям.

The results of design analyses concerning the selection of reduction ratio values are presented. The braking effectiveness and performance of a freight wagon with the separate braking of the bogies meet the normative requirements at these reduction ratio values.

Основной задачей, возникающей при проектировании тормозных систем с раздельным торможением тележек, является выбор передаточного числа тормозной рычажной передачи. Актуальность решения этой проблемы состоит в унификации размеров рычагов для грузовых вагонов с раздельным торможением тележек, как это было предусмотрено для вагонов с типовой тормозной системой.

Передаточное число тормозной рычажной передачи грузового вагона ограничено «сверху» и «снизу». Ограничение «сверху» обусловлено недопущением юза, а «снизу» - минимально допустимыми значениями расчетных коэффициентов сил нажатия колодок [1], а также минимально допустимой величиной тормозного пути грузового поезда на уклонах [2].

Максимальная величина силы нажатия тормозных колодок проверяется по наименьшему допустимому коэффициенту сцепления колеса с рельсом, при этом должно выполняться условие [1]:

$$\delta_p \cdot \varphi_{кр} \leq [\Psi_k]. \quad (1)$$

Определим также запас по юзу 10 %, т.е.:

$$\delta_p \cdot \varphi_{кр} \leq 0,9[\Psi_k], \quad (2)$$

где δ_p – расчетный коэффициент сил нажатия колодок:

$$\delta_p = \frac{\sum_{i=1}^m K_p}{T}, \quad (3)$$

K_p – расчетная сила нажатия тормозной колодки;

m – число тормозных колодок на вагоне;

T – сила тяжести порожнего вагона (тара);

$\varphi_{кр}$ – расчетный коэффициент трения тормозных композиционных и чугунных колодок, определяется по формулам [3]:

$$\varphi_{кр} = 0,36 \cdot \frac{V + 150}{2 \cdot V + 150}; \quad (4)$$

$$\varphi_{кр} = 0,27 \cdot \frac{V + 100}{5 \cdot V + 100}; \quad (5)$$

$[\Psi_k]$ – расчетный предельный коэффициент сцепления колеса с рельсом при торможении [1]:

$$[\Psi_k] = \Psi(q_o) \cdot \Psi(V). \quad (6)$$

Здесь $\Psi(q_o)$ – коэффициент, зависящий от осевой нагрузки на колесную пару [3]:

$$\Psi(q_o) = 0,17 - 0,0015 \cdot (q_o - 5), \quad (7)$$

$\Psi(V)$ – коэффициент, зависящий от скорости движения [3]:

$$\Psi(V) = \frac{V + 81}{2,4 \cdot V + 81}, \quad (8)$$

q_o – нагрузка на колесную пару (осевая нагрузка) вагона, тс;

V – скорость, км/ч.

Предельное значение расчетного коэффициента силы нажатия колодок определяется из равенства (1)

$$[\delta_p] = \frac{[\Psi_k]}{\varphi_{кр}}. \quad (9)$$

Предельно допустимые значения расчетного коэффициента силы нажатия колодок в диапазоне скоростей 10...140 км/ч в зависимости от массы тары представлены на рис. 1, из которого следует, что для композиционных колодок с повышением скорости допустимый расчетный коэффициент уменьшается, а для чугунных – увеличивается.

Предельная расчетная сила нажатия колодки на колесо для порожнего вагона определялась из уравнения (3):

$$[K_p] = \frac{T \cdot [\Psi_k]}{m \cdot \varphi_{кр}}. \quad (10)$$

Разрешающие уравнения для определения предельно допустимых действительных сил нажатия композиционных и чугунных тормозных колодок на колеса $[K]$, с учетом формул 1.14, 1.15 [3] и (10), имеют вид:

$$T \cdot \frac{[\Psi_k]}{m \varphi_{кр}} = 1,22 \cdot [K] \cdot \frac{[K] + 20}{4 \cdot [K] + 20}; \quad (11)$$

$$T \cdot \frac{[\Psi_k]}{m \varphi_{кр}} = 2,22 [K] \cdot \frac{16K + 100}{80K + 100}. \quad (12)$$

Предельно допустимые значения передаточных чисел определялись при максимальных давлениях в тормозных цилиндрах (1,6 кгс/см² для композиционных колодок и 2,0 кгс/см² для чугунных) без учета усилия на авторегуляторе [1] по формуле:

$$[n] = \frac{[K] \cdot m}{\left(\frac{\pi \cdot d_{ц}^2}{4} \cdot p_{ц} \cdot \eta_{ц} - F_1\right) \cdot \eta_{п}}. \quad (13)$$

Номограммы определения предельно допустимых значений передаточных чисел тормозных рычажных передач грузовых вагонов при композиционных колодках в зависимости от массы тары представлены на рис. 2.

В табл. 1 приведены интервальные значения верхних границ передаточных чисел рычажных передач грузовых вагонов с отдельным торможением тележек при композиционных колодках для скоростей 100, 120 и 140 км/ч.

Результаты расчета тормозной эффективности для груженого вагона с отдельным тормо-

жением тележек (ограничение «снизу»), выполненные по типовой методике при минимальных значениях передаточных чисел (для композиционных колодок при скорости 120 км/ч, для чугунных – 20 км/ч) и давлений в тормозных цилиндрах (3,0 кгс/см² для композиционных колодок и 4,0 кгс/см² для чугунных), показали (табл. 2), что для вагона с массой тары 20 т тормозная эффективность не соответствует нормативной [1] в пределах верхней и нижней границ интервала изменения передаточного числа, а для массы тары 21 и 22 т нижнему предельному значению ($\Psi_p = 0,9[\Psi_k]$) передаточного числа.

С целью выполнения требований [1] была проведена уточненная оценка интервалов изменения предельных границ передаточных чисел тормозных рычажных передач. Уточненные значения для выбора передаточных чисел для тормозной системы грузовых вагонов при композиционных колодках представлены в табл. 3, причем для массы тары 20 т необходимо увеличить минимальное давление до 3,1 кгс/см², а для массы тары 21 и 22 т – увеличить передаточное отношение.

Для максимальной скорости движения грузовых и пассажирских поездов установлено единое наименьшее тормозное нажатие в пересчете на чугунные тормозные колодки на каждые 100 т веса, так, например, для грузовых поездов для скорости движения до 90 км/ч сила нажатия должна составлять 33 тс [4].

Расчетные коэффициенты силы нажатия композиционных колодок в пересчете на чугунные определялись по номограммам, которые были получены исходя из равенства тормозных путей грузовых поездов соответственно на композиционных и чугунных колодках. Результаты пересчета представлены в табл. 4.

Тормозные пути на спусках 6 ‰ и 10 ‰ определялись по формуле [5]:

$$S_T = \frac{V_0 \cdot t_{п}}{3,6} + \sum \frac{4,17 \cdot (V_n^2 - V_{n+1}^2)}{b_T + W_{ox} + i_c}, \quad (14)$$

где V_0 – скорость в начальный момент торможения, км/ч;

$t_{п}$ – время подготовки автотормозов к действию, с, которое определяется для грузовых поездов длиной до 200 осей по формуле [5]:

$$t_{п} = 7 - \frac{10 \cdot i_c}{b_T}, \quad (15)$$

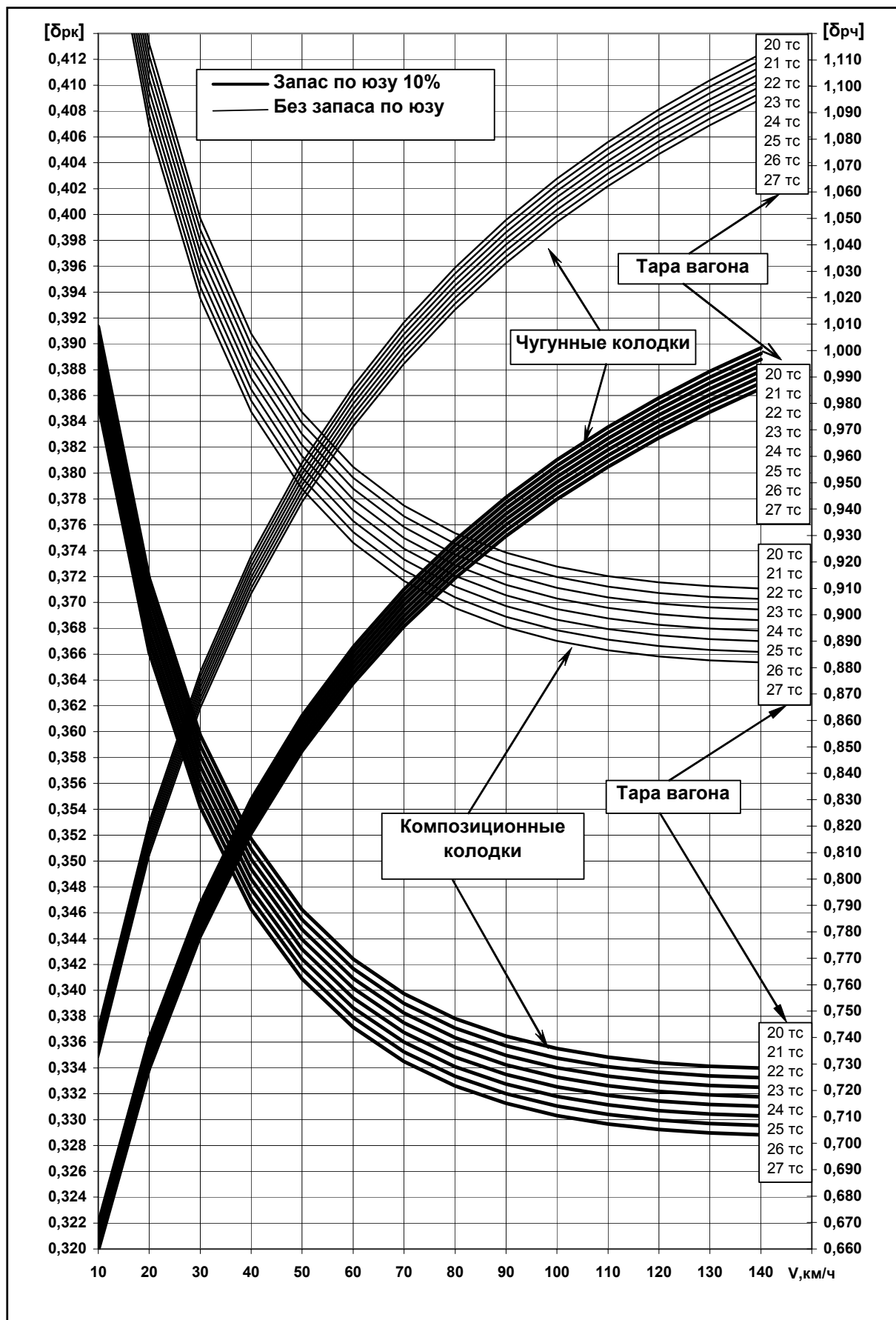


Рис. 1. Предельно допустимые значения расчетных коэффициентов сил нажатия тормозных колодок на колеса

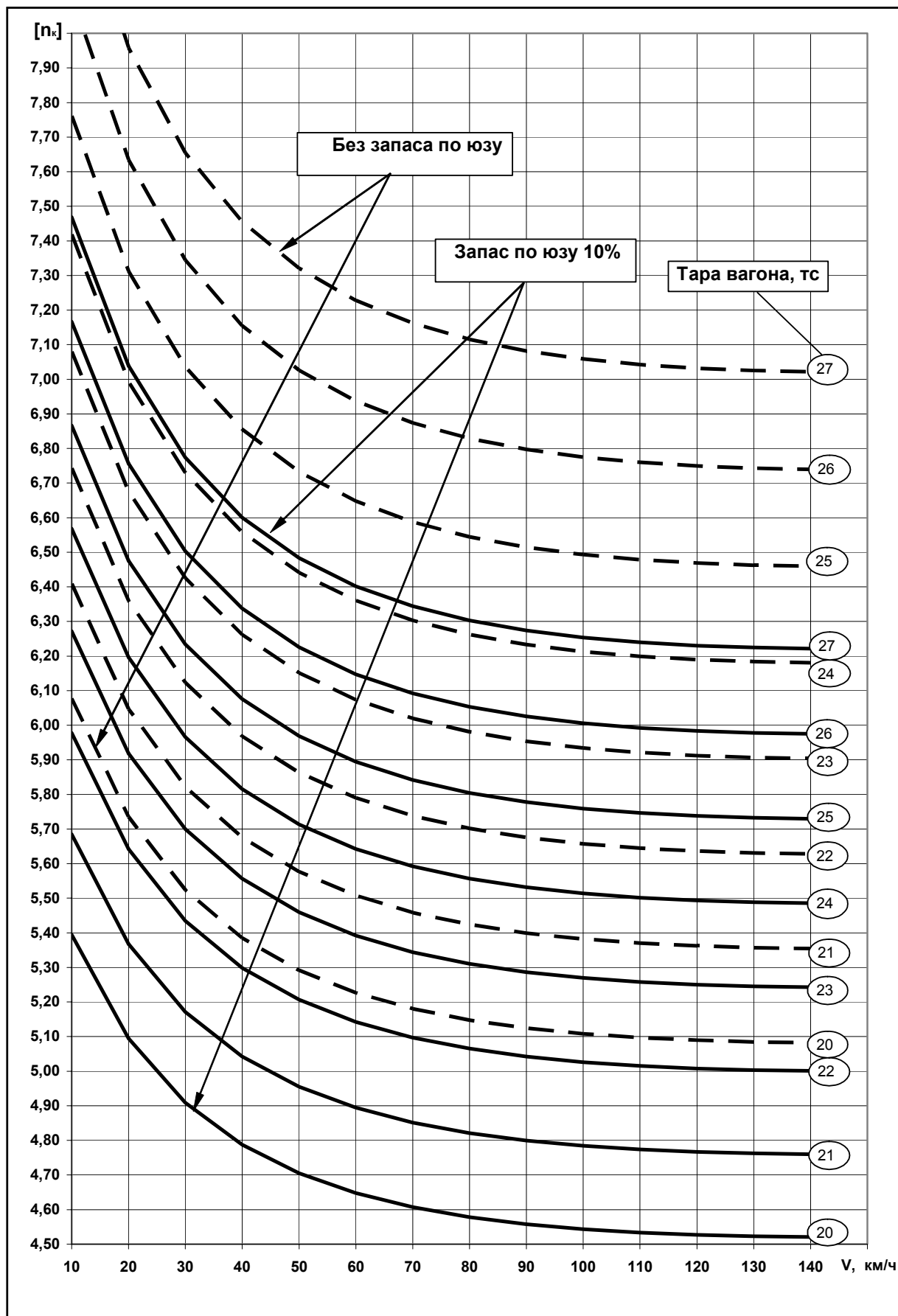


Рис. 2. Предельно допустимые значения передаточных чисел тормозной рычажной передачи грузового вагона при композиционных колодках

Таблица 1

**Допустимые предельные значения передаточного числа тормозной рычажной передачи
грузовых вагонов на композиционных колодках**

Тара вагона, тс	Скорость движения, км/ч					
	100		120		140	
	$\Psi_p = [\psi_k]$	$\Psi_p = 0,9[\psi_k]$	$\Psi_p = [\psi_k]$	$\Psi_p = 0,9[\psi_k]$	$\Psi_p = [\psi_k]$	$\Psi_p = 0,9[\psi_k]$
Допустимые значения передаточного числа						
20	5,11	4,54	5,09	4,53	5,08	4,52
21	5,38	4,78	5,36	4,77	5,35	4,76
22	5,66	5,03	5,64	5,01	5,63	5,00
23	5,93	5,27	5,91	5,25	5,90	5,24
24	6,21	5,51	6,19	5,49	6,18	5,49
25	6,49	5,76	6,47	5,74	6,46	5,73
26	6,78	6,01	6,75	5,98	6,74	5,98
27	7,06	6,25	7,03	6,23	7,02	6,22

Таблица 2

**Расчетные коэффициенты силы нажатия композиционных колодок
и расчетные силы нажатия на ось чугунных колодок**

Тара вагона, тс	Расчетный коэффициент силы нажатия композиционных колодок (допустимое значение для груженого вагона $[\delta_k] = 0,14$ [1])		Расчетная сила нажатия чугунных колодок на ось, тс (допустимое значение для груженого вагона $[K_{ч,ось}] = 6,5$ тс [1])	
	$\Psi_p = [\psi_k]$	$\Psi_p = 0,9[\psi_k]$	$\Psi_p = [\psi_k]$	$\Psi_p = 0,9[\psi_k]$
20	0,1392	0,1263	6,4386	5,8165
21	0,1454	0,1319	6,7409	6,0816
22	0,1514	0,1374	7,0456	6,3483
23	0,1574	0,1429	7,3527	6,6166
24	0,1634	0,1483	7,6622	6,8867
25	0,1693	0,1537	7,9741	7,1585
26	0,1751	0,1590	8,2883	7,4321
27	0,1809	0,1642	8,6046	7,7075

Таблица 3

**Уточненные значения передаточного числа тормозной рычажной
передачи грузовых вагонов на композиционных колодках**

Масса тары, тс	Передаточное число		Расчетный коэффициент силы нажатия композиционных колодок	
	$\Psi_p = [\psi_k]$	$\Psi_p = 0,9[\psi_k]$	$\Psi_p = [\psi_k]$	$\Psi_p = 0,9[\psi_k]$
20	5,09 ($p_u^{\min} = 3,1$ кгс/см ²)	4,95 ($p_u^{\min} = 3,1$ кгс/см ²)	0,144 ($p_u^{\min} = 3,1$ кгс/см ²)	0,14 ($p_u^{\min} = 3,1$ кгс/см ²)
21	5,362	5,140	0,1454	0,14
22	5,636	5,140	0,1514	0,14
23	5,912	5,250	0,1574	0,1429
24	6,190	5,493	0,1634	0,1483
25	6,469	5,738	0,1693	0,1537
26	6,749	5,984	0,1751	0,1590
27	7,032	6,230	0,1809	0,1642

Силы нажатия композиционных колодок в пересчете на чугунные

Расчетный коэффициент силы нажатия композиционных колодок	Скорость в начале торможения, км/ч			
	90	100	110	120
Расчетный коэффициент силы нажатия композиционных колодок в пересчете на чугунные				
0,14	0,358	0,366	0,373	0,379
0,1429	0,365	0,373	0,380	0,386
0,1483	0,379	0,387	0,395	0,401
0,1537	0,393	0,402	0,409	0,416
0,159	0,406	0,415	0,423	0,430
0,1642	0,420	0,429	0,437	0,444
Силы нажатия композиционных колодок в пересчете на чугунные				
0,14	33,645	34,381	35,029	35,591
0,1429	34,342	35,093	35,755	36,328
0,1483	35,640	36,419	37,106	37,701
0,1537	36,937	37,745	38,457	39,074
0,159	38,211	39,046	39,783	40,421
0,1642	39,461	40,323	41,084	41,743

b_t – удельная тормозная сила, кгс/т;

W_{ox} – удельное основное сопротивление движению, кгс/т;

i_c – уклон, ‰.

В качестве критерия для сравнительной оценки тормозного пути грузового поезда на уклонах принималось расстояние от переносных сигналов и от места внезапно возникшего препятствия до первой петарды [2].

Выполненные расчетные исследования свидетельствуют, что для композиционных колодок тормозные пути на уклонах удовлетворяют инструкции [2] при минимальных предельных значениях передаточных чисел тормозной рычажной передачи.

Для чугунных колодок тормозные пути на уклонах превышают допустимые значения [2].

Расчетные исследования тормозных систем грузовых вагонов с отдельным торможением тележек с композиционными и чугунными колодками при осевой нагрузке 23,5 тс удовлетворяют нормативным требованиям, за исключением тормозных путей грузовых поездов с чугунными колодками на уклонах.

Вместе с тем, следует отметить, что в соответствии с требованиями [6] установлены минимальные величины расчетного коэффициента силы нажатия композиционных колодок для грузовых вагонов с осевой нагрузкой до 25 тс:

- для скорости 90 км/ч на среднем режиме 0,22 для порожнего вагона и 0,14 для груженого;
- для скорости 100 км/ч на среднем режиме 0,22 для порожнего вагона и 0,17 для груженого;
- для скорости 120 км/ч на груженом режиме 0,25 независимо от загрузки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных) [Текст]. – ГосНИИВ-ВНИИЖТ, 1996.
2. ЦШ/0001 Інструкція з сигналізації на залізницях України [Текст]. – К., 1995.
3. Гребенюк, П. Т. Правила тормозных расчетов [Текст] / П. Т. Гребенюк. – М.: Интекст, 2004.
4. ЦТ-ЦВ-ЦЛ-0015 Інструкція з експлуатації гальм рухомого складу на залізницях України [Текст]. – К.: Транспорт України, 2002.
5. Иноземцев, В. Г. Нормы и методы расчета автотормозов [Текст] / В. Г. Иноземцев, П. Т. Гребенюк. – М.: Транспорт, 1971.
6. Технические требования на тормозную систему с отдельным торможением тележек и новым тормозным оборудованием для вагоностроительных заводов [Текст]. – ВНИИЖТ, 2005.

Поступила в редколлегию 10.03.2009.

Принята к печати 19.03.2009.