

УДК 629.-592:620.178.4

Ю.Я. Водяников, С.А. Павлов, А.Е. Можейко, Д.А. Донченко

УЧЕТ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ ТОРМОЖЕНИЯ ПАССАЖИРСКИХ ВАГОНОВ С КОЛОДОЧНЫМИ ТОРМОЗАМИ

Представлены результаты исследования переходных режимов торможения пассажирских вагонов с колодочными тормозами. Приведены математические зависимости для удельной тормозной силы, учитывающие переходной период при торможении.

Дальнейшее совершенствование пассажирских вагонов обуславливает более глубокий анализ его характеристик, к которым в первую очередь следует отнести динамические, динамико-прочностные и тормозные характеристики.

Важнейшей составной частью вагона является тормозная система. Эффективность тормозных средств является одним из основных условий, определяющих возможность повышения массы и скорости движения поездов, пропускной и провозной способности железных дорог. От свойств и состояния тормозного оборудования в значительной степени зависит безопасность движения.

Одним из вариантов сокращения тормозного пути пассажирского поезда при колодочном фрикционном торможении является увеличение скорости наполнения тормозных цилиндров. Короткое время наполнения тормозных цилиндров, по возможности одинаковое по всей длине поезда, является важнейшей характеристикой тормозной системы современных поездов, курсирующих с повышенными скоростями.

В этой связи, вопросы, связанные переходными режимами торможения, обусловленные процессом наполнения тормозных цилиндров воздухом и реализацией при этом тормозных сил, являются актуальными.

Основной задачей расчетных и экспериментальных исследований тормоза является определение и оценка его характеристик, а также тормозной эффективности (расчетного коэффициента силы нажатия колодок на колеса - тормозного коэффициента) нормативным требованиям.

Определение тормозного коэффициента (тормозной эффективности) производится при номинальной величине давления в тормозном цилиндре и максимальном выходе штока, при этом игнорируется режим наполнения тормозного цилиндра сжатым воздухом.

Графики изменения давлений в тормозных приборах (рис. 1 и 2) свидетельствуют, что время переходного режима (рис. 3) может составлять, в зависимости от скорости в начале торможения, от 10 % до 50 % времени полного торможения.

Поэтому задачи, направленные на исследования переходных режимов торможения, являются актуальными.

© *Ю.Я. Водяников, С.А. Павлов, А.Е. Можейко, Д.А. Донченко, 2013*

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Так как основным показателем тормозной эффективности является тормозной коэффициент, то переходные режимы оцениваются по следующим характеристикам:

- силам, реализуемым на штоке тормозного цилиндра;
- действительной силе нажатия колодки на колесо;
- расчетной силе нажатия колодки на колесо.

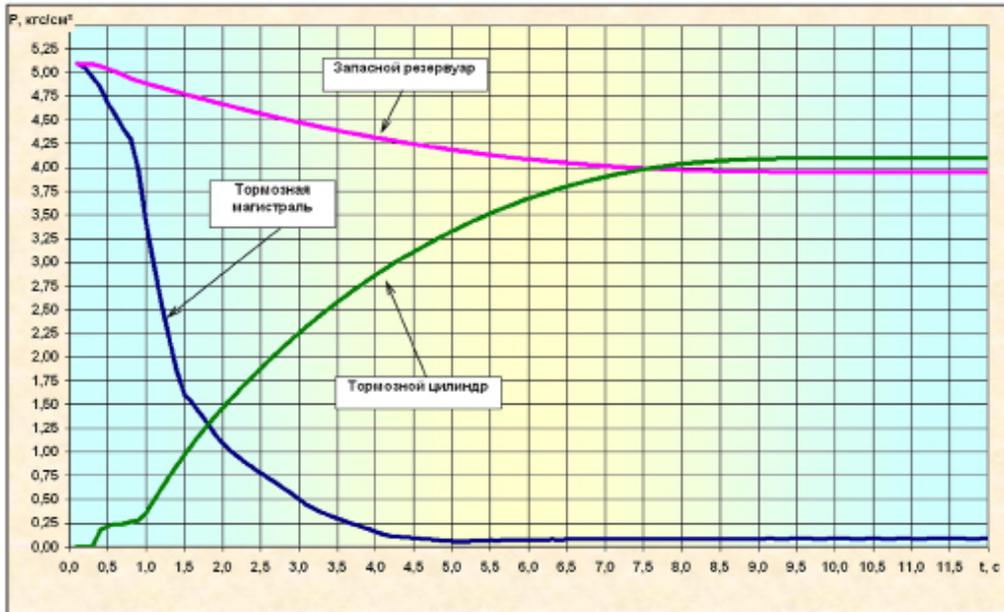


Рис. 1. Диаграммы изменения давлений в тормозных резервуарах при экстремном пневматическом торможении пассажирского вагона с композиционными колодками

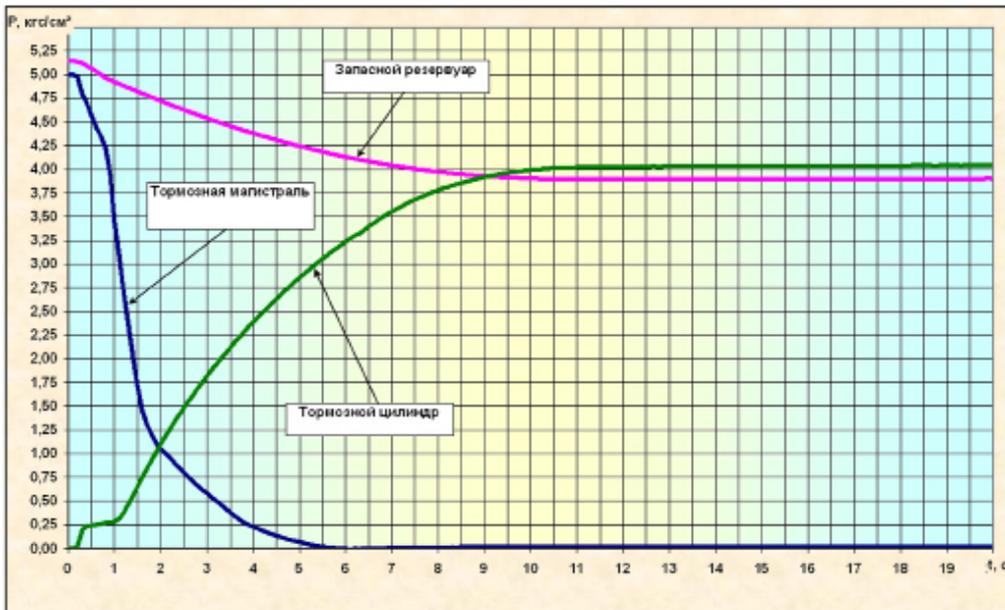


Рис. 2. Диаграммы изменения давлений в тормозных резервуарах при экстремном пневматическом торможении пассажирского вагона с чугунными колодками

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

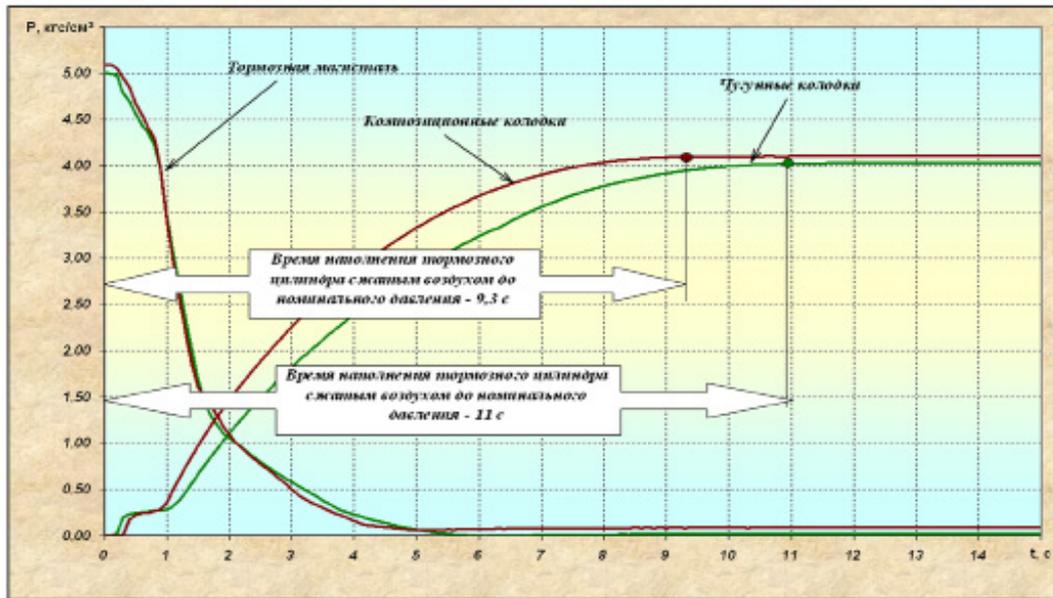


Рис. 3. Время переходного режима торможения

Исследования переходных процессов торможения проводились для пассажирского вагона с типовой тормозной системой при композиционных и чугунных колодках (рис. 4). Параметры тормозной системы приведены в табл. 1.

При определении мгновенной силы на штоке тормозного цилиндра при наполнении тормозного цилиндра сжатым воздухом полагается, что ход поршня и величина сжатия авторегулятора пропорциональны нарастанию давления воздуха в тормозном цилиндре, при этом математическое выражение имеет вид [1]:

$$K_{шт}(t) = \left(\frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot p_{ци} \cdot \eta_{ц} - F_n - \varepsilon_1 \cdot L_{шт} \cdot \frac{P_{ци}}{P_{ном}} - (F_p + \varepsilon_p \cdot l_p) \cdot \frac{P_{ци}}{P_{ном}} \cdot n_p \right), \quad (1)$$

- где $P_{ном}$ - номинальное давление в тормозном цилиндре, кг/см²;
 d - диаметр тормозного цилиндра, см;
 $p_{ци}$ - текущее давление в тормозном цилиндре;
 $\eta_{ц}$ - к.п.д. тормозного цилиндра;
 F_n - усилие предварительного сжатия отпусковой пружины, кг;
 ε_1 - жесткость отпусковой пружины тормозного цилиндра, кг/см;
 $L_{шт}$ - выход штока;
 F_p - сила предварительного сжатия пружины авторегулятора, кг;
 ε_p - жесткость пружины авторегулятора, кг/см;
 l_p - сжатие пружины авторегулятора при торможении, см;
 n_p - передаточное число привода авторегулятора.

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

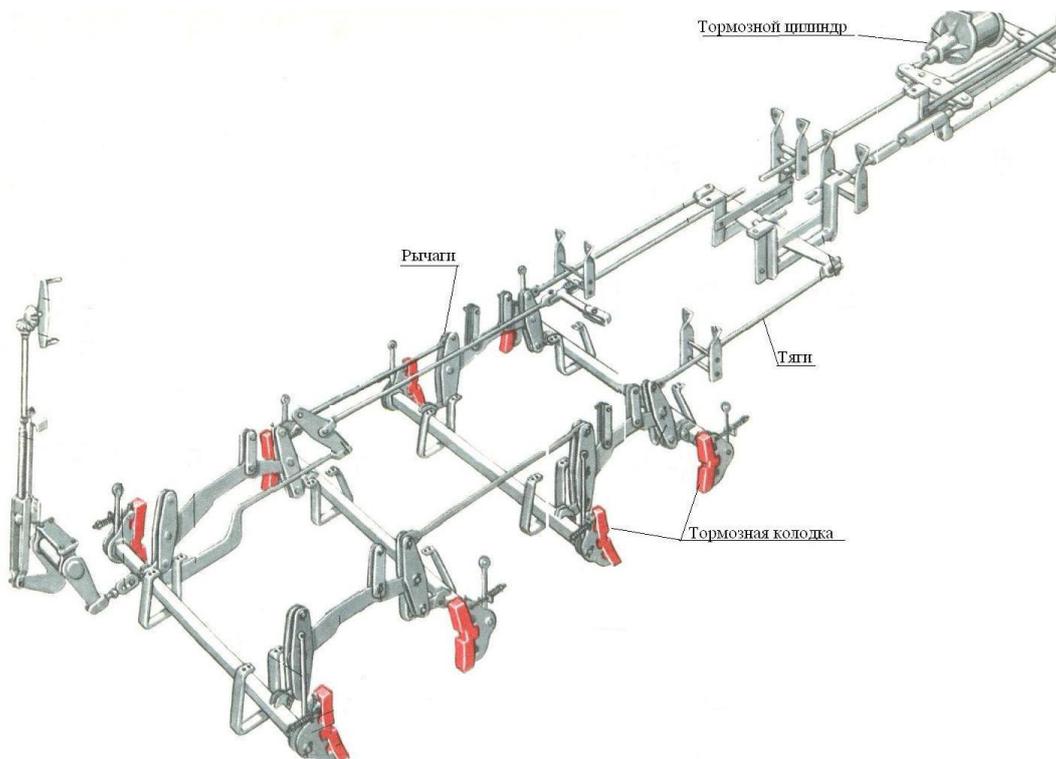


Рис.4. Типовая тормозная система пассажирского вагона с колодочным тормозом

Таблица 1. Параметры типовой тормозной системы пассажирского вагона

Наименование показателя	Значение
1	2
Параметры вагона	
Сила тяжести вагона (брутто), тс	62,00
Число тормозных колодок	16,00
Параметры тормозного цилиндра	
Диаметр поршня, см	35,60
Жесткость пружины, кг/см	6,57
Усилие предварительного сжатия пружины, кгс	159,00
КПД тормозного цилиндра	0,98
КПД рычажной передачи	0,90
Композиционные колодки	
Номинальное давление в тормозном цилиндре, кгс/см ²	4,1
Передаточное отношение рычажной передачи	5,3
Выход штока тормозного цилиндра, см	15,00
Чугунные колодки	
Номинальное давление в тормозном цилиндре, кгс/см ²	4,03

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Окончание Табл. 1

1	2
Передаточное отношение рычажной передачи	12
Выход штока тормозного цилиндра, см	15,00
Параметры авторегулятора	
Усилие предварительного сжатия, кгс	169,00
Жесткость пружины, кг/см ²	23,10
Величина сжатия при торможении, см	4,50
Передаточное отношение (композиционные)	1,50
Передаточное отношение (чугунные)	0,67

Характер изменения силы на штоке тормозного цилиндра приведен на рис.

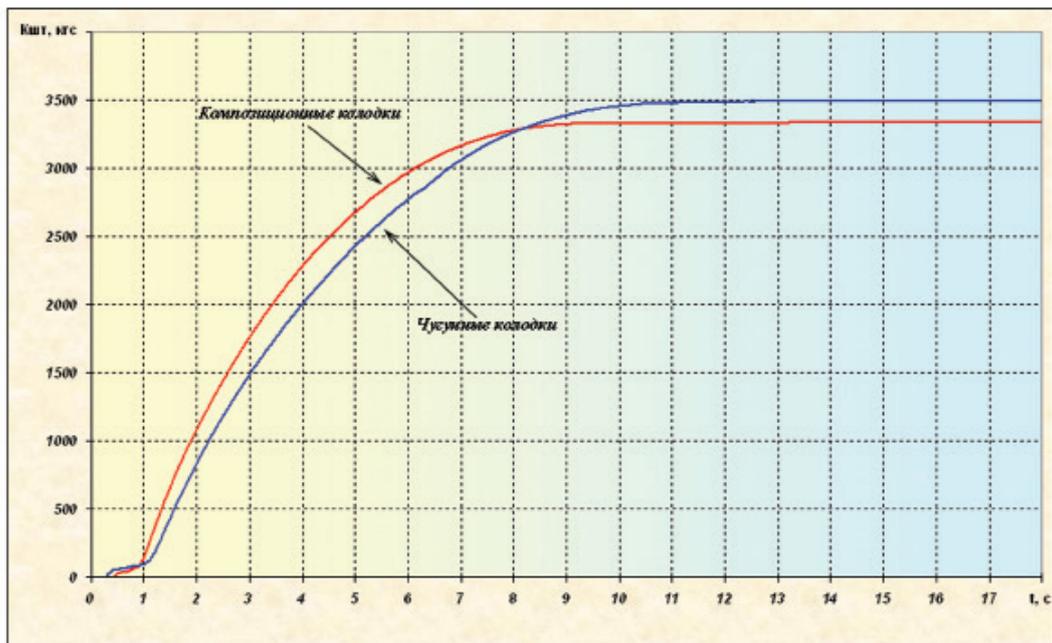


Рис. 5. Сила, реализуемая на штоке тормозного цилиндра при экстренном пневматическом торможении

Диаграмма изменения усилия на штоке отличается от диаграммы повышения давления в тормозном цилиндре, обусловленное влиянием отпускной пружины и авторегулятора.

Действительная сила нажатия колодки на колесо (\hat{E}) определяется по формуле [1]:

$$K = \frac{1}{m} \cdot K_{um}(t) \cdot n \cdot \eta_p \quad (2)$$

где m - число тормозных колодок;

n - передаточное число рычажной передачи;

η_p - к.п.д. рычажной передачи.

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Кoeffициенты сил нажатия колодок на колесо определяются по формулам: для композиционных колодок [1]:

$$K_p = 1,22 \cdot K \frac{K + 20}{4K + 20}, \quad (3)$$

для чугунных колодок [2]:

$$K_p = 2,22 \cdot K \frac{16K + 100}{80K + 100}. \quad (4)$$

Диаграммы изменения действительной и расчетной сил нажатия колодок и их относительных единиц при переходных режимах торможения свидетельствуют, что действительные силы нажатия колодок корреспондируются с диаграммой изменения давления в тормозном цилиндре (рис. 6); пересчет действительных коэффициентов сил нажатия колодок на расчетные по формулам (3) и (4) обуславливает практическое совпадение их относительных коэффициентов (рис. 7), что позволяет использовать одну и ту же аналитическую зависимость для описания относительных расчетных коэффициентов (рис. 8).

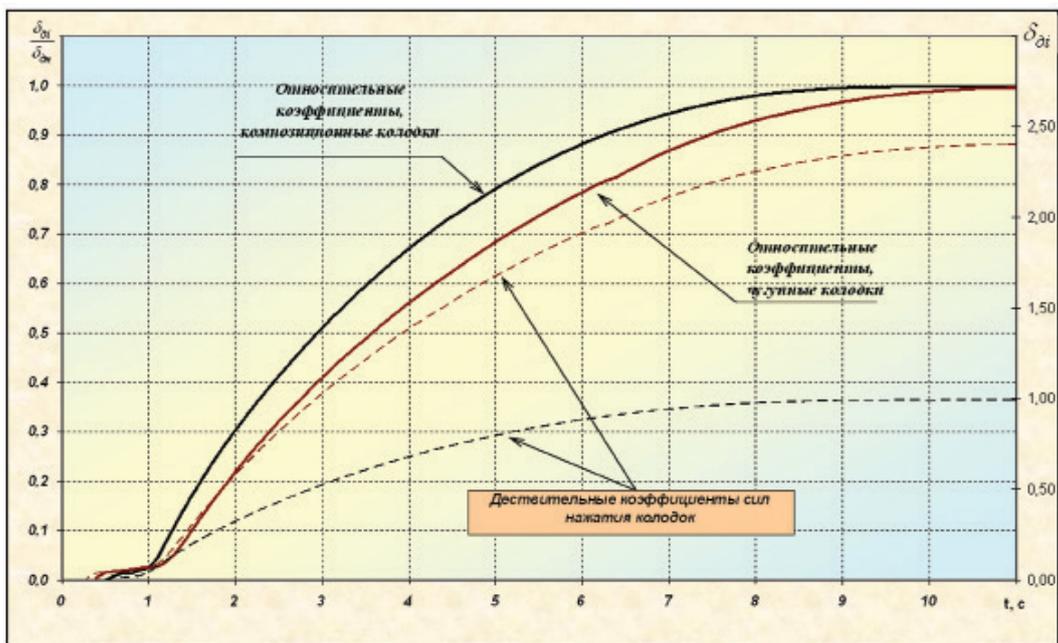


Рис. 6. Относительные и действительные коэффициенты силы нажатия колодок на колеса при переходном режиме торможения

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

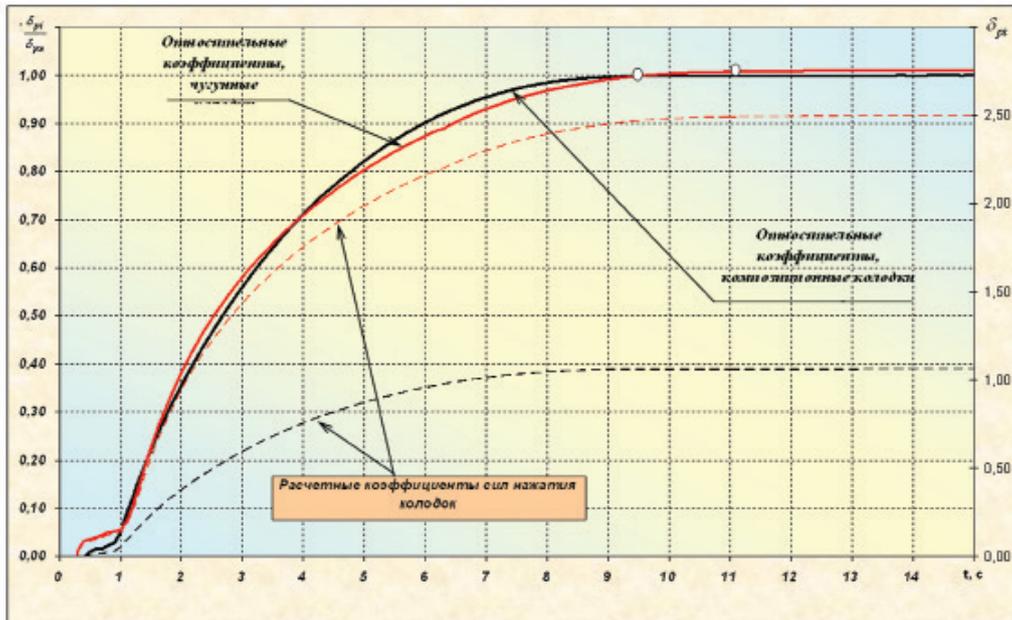


Рис. 7. Относительные расчетные коэффициенты силы нажатия колодок на колеса при переходном режиме торможения

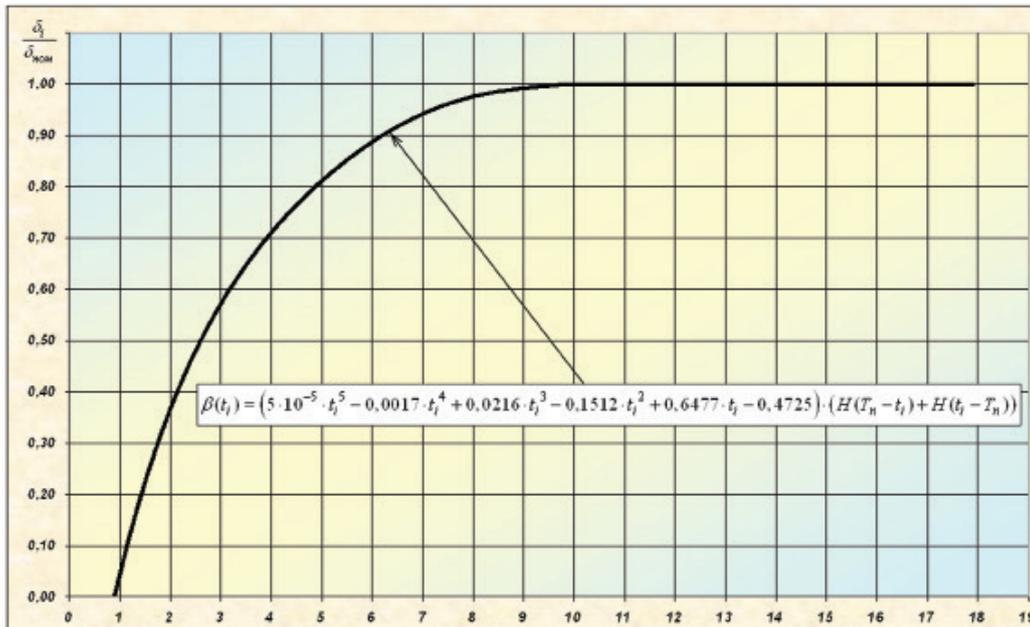


Рис. 8. Относительный расчетный коэффициент силы нажатия композиционных и чугунных колодок

С учетом изложенного, текущее значение удельной тормозной силы пассажирского вагона с композиционными и чугунными колодками может быть представлено математическим выражением:

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

$$B_m(t_i) = \beta(t_i) \cdot (H(T_n - t_i) + H(t_i - T_n)) \cdot \delta_{ном} \cdot \Phi_{mp}, \quad (5)$$

где t_i - текущее время торможения, с;

$B_m(t_i)$ - удельная тормозная сила, соответствующая времени t_i ;

$\delta_{ном}$ - номинальное значение расчетного тормозного коэффициента;

T_n - время достижения номинального давления в тормозном цилиндре,

$T_i = 9,8$ с;

$H(x)$ - функция Хевисайда - кусочно-постоянная функция, которая определяется формулой:

$$H(x) = \begin{cases} 0 & \text{при } x < 0 \\ 1 & \text{при } x \geq 0 \end{cases}; \quad (6)$$

$\beta(t_i)$ - функция, зависящая от времени, определяется по формуле:

$$\beta(t_i) = 5 \cdot 10^{-5} \cdot t_i^5 - 0,0017 \cdot t_i^4 + 0,0216 \cdot t_i^3 - 0,1512 \cdot t_i^2 + 0,6477 \cdot t_i - 0,4725. \quad (7)$$

Выводы

Таким образом, формула (5) позволяет учесть переходной период торможения и уточнить тормозную эффективность пассажирских вагонов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). - М.: ГосНИИВ-ВНИИЖТ, 1996. - 260 с.