

УДК 625.303:629.4.077

Водяников Ю.Я., Донченко А.В., Жихарцев К.Л., Еськов Д.И.

Государственное предприятие "Украинский научно-исследовательский институт вагоностроения".
Украина, Кременчуг

ДИНАМИЧЕСКОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ПУТЬ ПРИ ТОРМОЖЕНИИ ГРУЗОВОГО ВАГОНА В СОСТАВЕ ПОЕЗДА

Анотація

Викладено результати теоретичного дослідження впливу на колію вантажного вагона при екстреному та регульовальному гальмуваннях. Показано, що при гальмуванні виникає додаткове навантаження на перший по ходу руху візок і розвантаження другого візка. Величина додаткового навантаження залежить від гальмівної ефективності вагона – розрахункового коефіцієнта сили натиснення колодок на колеса. Сумарний вплив на колію вантажного вагона в діапазоні швидкостей (0–120) км/год визначався із урахуванням імовірності швидкості руху вантажних поїздів.

Abstract

The results of the theoretical study of the dynamic influence on the track of the freight car during the emergency and regulating braking. It is shown that the additional loading appears on the first in the direction of travel bogie and unloading of the second bogie. The value of the additional loading depends on the braking efficiency of a wagon (design ratio of the application force of the brake pads to the wheels). Cumulative influence on the track of the freight wagon within the speed range (0–129) km/h was defined subject to the probability of the freight trains motion speed.



Актуальность

Основным фактором ограничения скорости движения грузовых и пассажирских поездов является техническое состояние железнодорожного пути, который подвергается воздействию значительных динамических нагрузок при движении поездов. Опыт эксплуатации подвижного состава показывает, что наибольшее воздействие на путь оказывают грузовые поезда, поэтому вопросы, связанные с оценкой динамических сил, действующих на железнодорожный путь при движении грузового вагона, являются актуальными. Особую актуальность эти вопросы приобретают в настоящее время в связи с созданием скоростного движения пассажирских поездов для скоростей 160 км/ч и более.

Целью исследования являлось определение динамического воздействия на путь грузового вагона при торможении.

Постановка задачи

Одним из факторов воздействия на путь являются силы возникающие при торможении поезда вследствие дополнительной нагрузки-разгрузки колесной пары вагона, причем нагрузку получает передняя по ходу движения колесная пара, а разгрузку – задняя (рис. 1).

Исходя из равенства моментов сил (см. рис. 1) относительно оси, проходящей через шкворень, перпендикулярно плоскости чертежа, добавочная вертикальная составляющая сила Δq , действующая на колесную пару при торможении, определяется по формуле (1), а разгрузка ΔQ задней и нагрузка передней тележек по формуле (2) [1].

$$\Delta q = \delta \cdot \varphi_k \cdot \left[\frac{Q \cdot h_0}{2 \cdot A} - \frac{q' \cdot (h_2 - h_3)}{a} \right] + \Sigma (K_p) \cdot \varphi_k \cdot \left(\frac{h_1}{2 \cdot A} + \frac{h_2}{2 \cdot a} \right) \quad (1)$$

$$\Delta Q = \frac{Q \cdot \delta \cdot \varphi_k \cdot h_0 + \Sigma K_p \cdot \varphi_k \cdot h_1}{A} \quad (2)$$

где δ – расчетный коэффициент силы нажатия колодок на колеса, определяется по формуле [2]:

$$\delta = \frac{\Sigma_{i=1}^n K_p}{Q_{бр}} \quad (3)$$

φ_k – коэффициент трения композиционной колодки и колеса для скорости V , определяется по формуле [2]:

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

- Q – вес кузова вагона вместе с грузом, тс;
 - $Q_{бр}$ – брутто вагона, тс;
 - A – база вагона (расстояние между шкворнями тележек), м;
 - a – база тележки, $a = 1,8$ м;
 - q' – вес тележки, $q' = 4,9$ тс;
 - K_p – расчетная сила нажатия тормозной колодки;
 - h_0 – координата приложения силы инерции, м;
 - h_3 – координата центра тяжести тележки, м, $h_3 = 0,6$ м;
 - h_1 – расстояние от пятника тележки до оси сцепления автосцепок, $h_1 = 0,3$ м;
 - h_2 – расстояние от головки рельса до подпятника, $h_2 = 0,77$ м;
 - q_0 – осевая нагрузка тс;
- Из анализа формул (1) и (2) вытекает, что величина дополнительной силы, действующей на путь при торможении, зависит от тормозной силы $B = \delta \cdot \varphi_k$ и координаты центра тяжести вагона.

Основное изложение материала исследования

Дополнительная вертикальная сила на рельсы при торможении, определялась на примере длиннобазных платформ для перевозки контейнеров. Длиннобазные платформы для перевозки контейнеров моделей 13-7021, 13-7031, 13-1796 и др. имеют одинаковые габаритные размеры: длина по осям сцепления автосцепок 25690 мм, база платформы 18500 мм.

Дальнейшему анализу подвергалась платформа модели 13-7024 на тележках модели 18-100, для которой в грузе состоянии

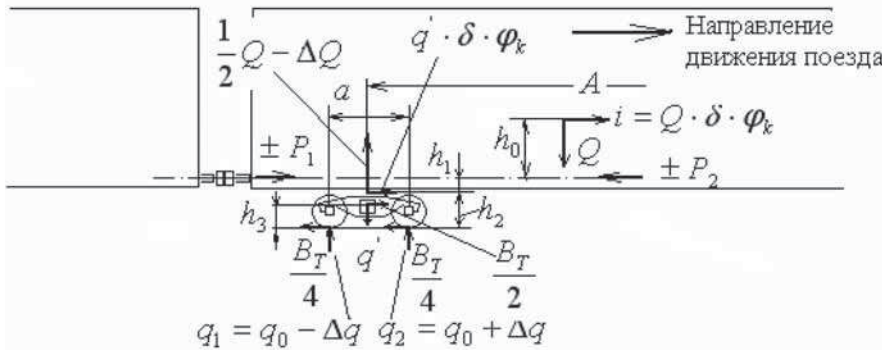


Рис. 1. Схема сил, возникающих в процессе торможения вагона в составе поезда

(брутто 93,5 тс) расстояние от головки рельса до центра тяжести составляет 2,01 м. Расчетные силы нажатия колодок на колеса для груженой платформы с композиционными колодками, полученные в результате поездных тормозных испытаний [2] при экстренном пневматическом торможении на площадке, представлены в таблице 1.

Так как основными видами торможений при движении грузового поезда являются регулировочные (в том числе полное служебное торможение), то дополнительные нагрузки по формуле 1 определялись для экстренного и полного служебного торможений (рис. 2). Результаты расчета дополнительных сил, возникающих при торможении представлены на рис. 2.

Воздействие на путь определяется средней динамической погонной нагрузкой $q_{дин}$, определяемой по формуле [3]:

$$q_{дин} = \frac{n \cdot P_{ос}}{2 \cdot l_m + \Delta l} (1 + \kappa_{дв}), \quad (5)$$

где $2 \cdot l_m$ – база тележки;

$\Delta l = 2,2$ м – условная длина общей расчетной зоны влияния крайних осей;

$\kappa_{дв}$ – расчетный коэффициент вертикальной динамики вагона;

n – число осей в тележке, $n = 2$;

$P_{ос}$ – расчетная статическая осевая нагрузка,

$$P_{ос} = \frac{P_{бр}}{2 \cdot n} \quad (P_{бр} \text{ – брутто вагона}).$$

Таблица 1

Тормозные характеристики платформы, полученные в результате поездных тормозных испытаний

Скорость в начале торможения, км/ч	Расчетный коэффициент силы нажатия композиционных колодок	Суммарная расчетная сила нажатия композиционных колодок на ось, тс/ось	Расчетный коэффициент силы нажатия композиционных колодок в пересчете на чугунные	Суммарная расчетная сила нажатия композиционных колодок на ось в пересчете на чугунные, тс/ось
40	0,14	3,273	0,297	6,909
50	0,143	3,343	0,319	7,407
60	0,145	3,389	0,337	7,835
70	0,146	3,413	0,363	8,2
80	0,148	3,460	0,369	8,573
90	0,15	3,506	0,382	8,885
100	0,151	3,530	0,394	9,158
110	0,153	3,576	0,405	9,413
120	0,154	3,600	0,416	9,669

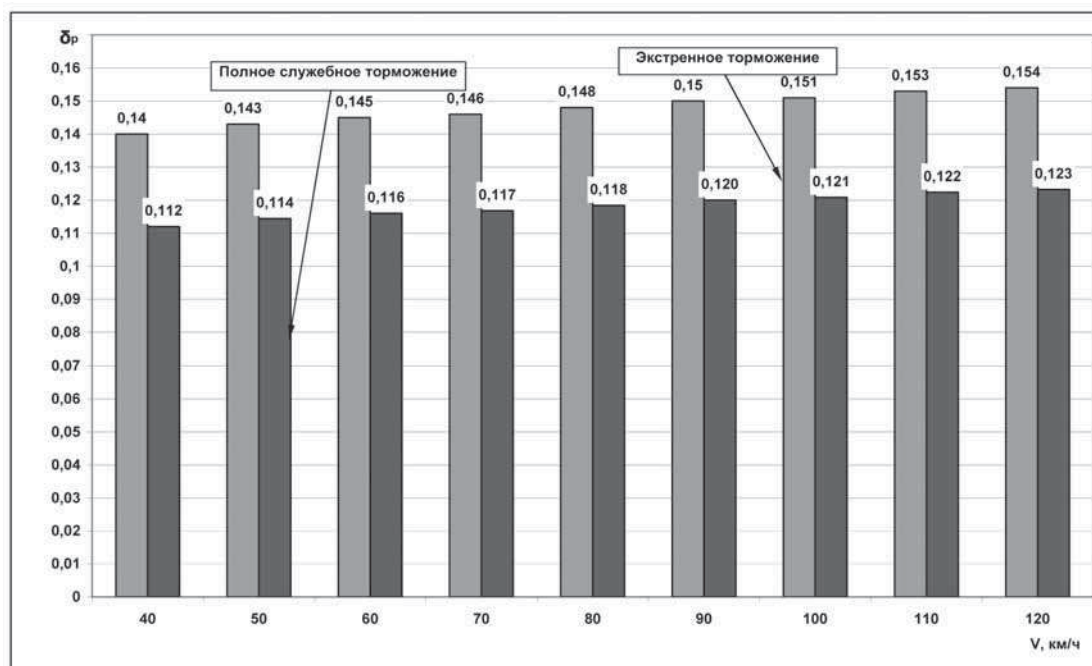


Рис. 2. Расчетные коэффициенты сил нажатия тормозных колодок



Средняя погонная статическая нагрузка зависит от брутто вагона $P_{бр}$ и длины вагона по осям сцепления автосцепок L_c [3]:

$$q_{ст} = \frac{P_{бр}}{2 \cdot L_c}, \quad (6)$$

Динамическое воздействие на путь определяется по величине коэффициента вертикальной динамики $K_{дв}$ необрессоренных частей тележек грузового вагона [3]:

$$K_{дв} = \frac{\bar{K}_{дв}}{\beta} \cdot \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot \ln \frac{1}{1 - P(K_{дв})}}, \quad (7)$$

где $\bar{K}_{дв}$ – среднее вероятное значение коэффициент вертикальной динамики;

β – параметр распределения, для грузовых вагонов $\beta = 1,13$ [3];

$P(K_{дв})$ – вероятность распределения коэффициента вертикальной динамики, принимается, $P(K_{дв}) = 0,97$ [3].

Среднее вероятное значение коэффициент вертикальной динамики для скоростей $V \geq 15$ м/с и $V < 15$ м/с определяются соответственно по формулам (8) и (9) [3]:

$$\bar{K}_{дв} = a + 3,6 \cdot 10^4 \cdot v \cdot \frac{V - 15}{f_{ст}} \quad (8)$$

$$\bar{K}_{дв} = a \cdot \frac{V}{15} \quad (9)$$

где $a = 0,15$ (для необрессоренных частей тележки) [3];

v – коэффициент, учитывающий влияние числа осей, $v = 1$ [3];

V – расчетная скорость движения, м/с;

$f_{ст}$ – статический прогиб рессорных комплектов, м;

g – жесткость рессорного комплекта тележки, тс/м.

Статический прогиб рессорных комплектов первой и второй тележек с учетом вертикальной добавочной нагрузки (рис. 3) определяются по формулам:

$$f_{ст,1} = \frac{P_{бр} / 2 + \Delta Q}{n_1 \cdot g} \quad (10)$$

$$f_{ст,2} = \frac{P_{бр} / 2 - \Delta Q}{n_1 \cdot g} \quad (11)$$

где $n_1 = 2$ – число осей на тележке.

Для грузовых вагонов с осевой нагрузкой 23,5 тс/ось в основном применяются тележки модели 18-100, жесткость рессорного комплекта которых составляет 8849 кН/м (901,5 тс/м).

На рисунке 5 представлена диаграмма коэффициентов вертикальной динамики необрессоренных частей тележек платформы.

В процессе торможения скорость движения уменьшается от максимальной величины в начале торможения до нулевой (рис. 6) и, следовательно,

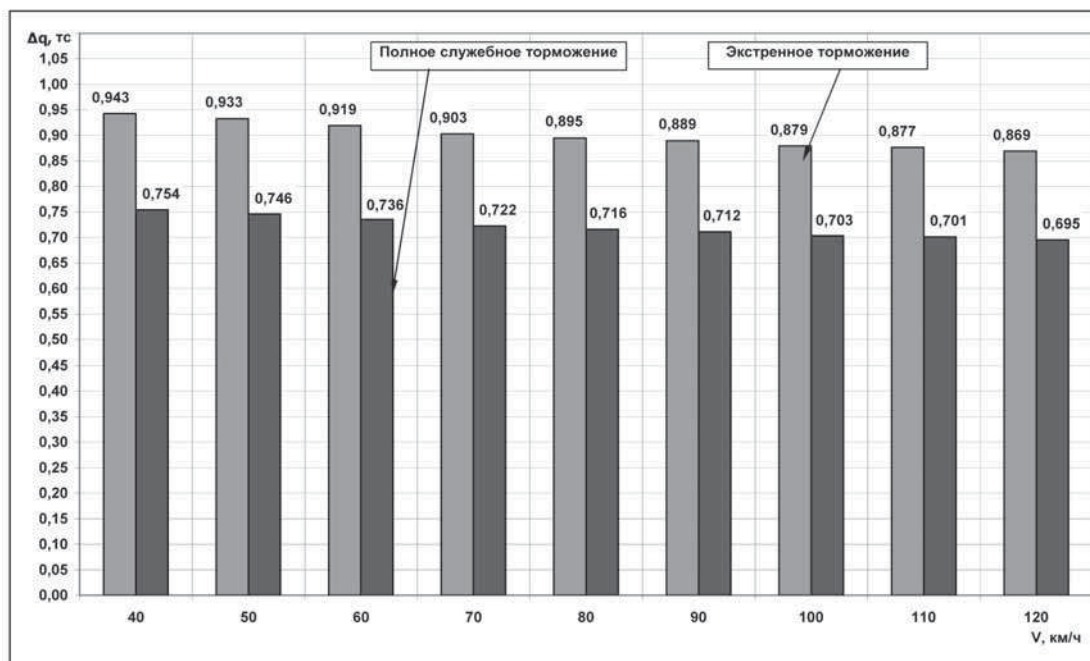


Рис. 3. Добавочная вертикальная нагрузка, действующая на каждую из колесных пар (увеличение на переднюю тележку, уменьшение на заднюю) при торможении

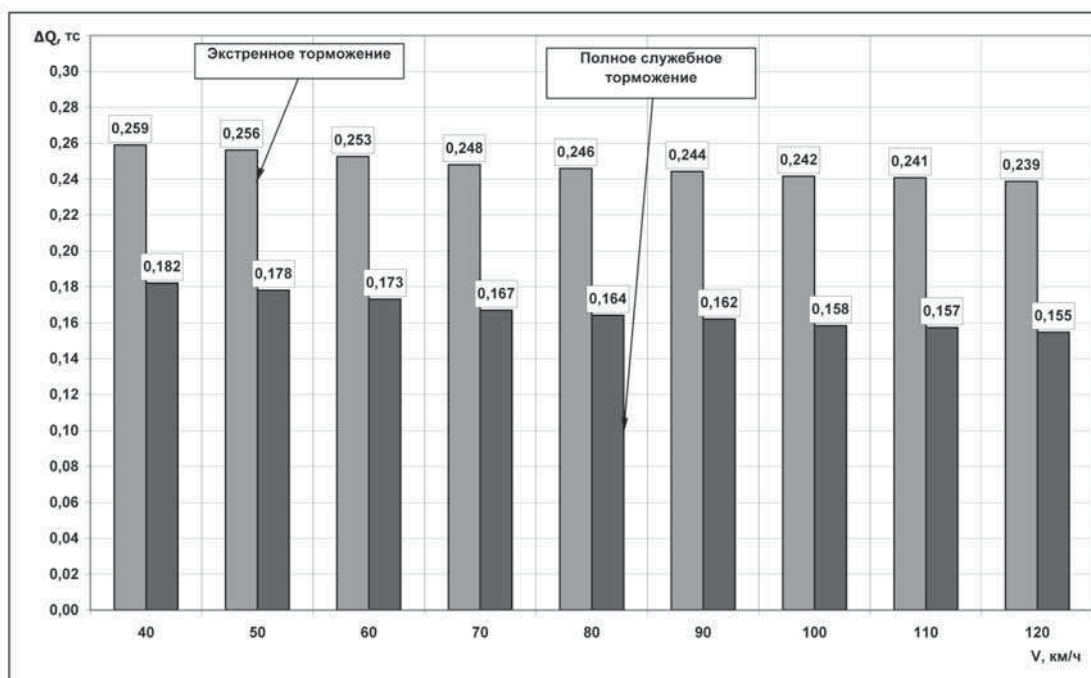


Рис. 4. Диаграммы величины нагрузки передней и разгрузки задней тележек при торможении

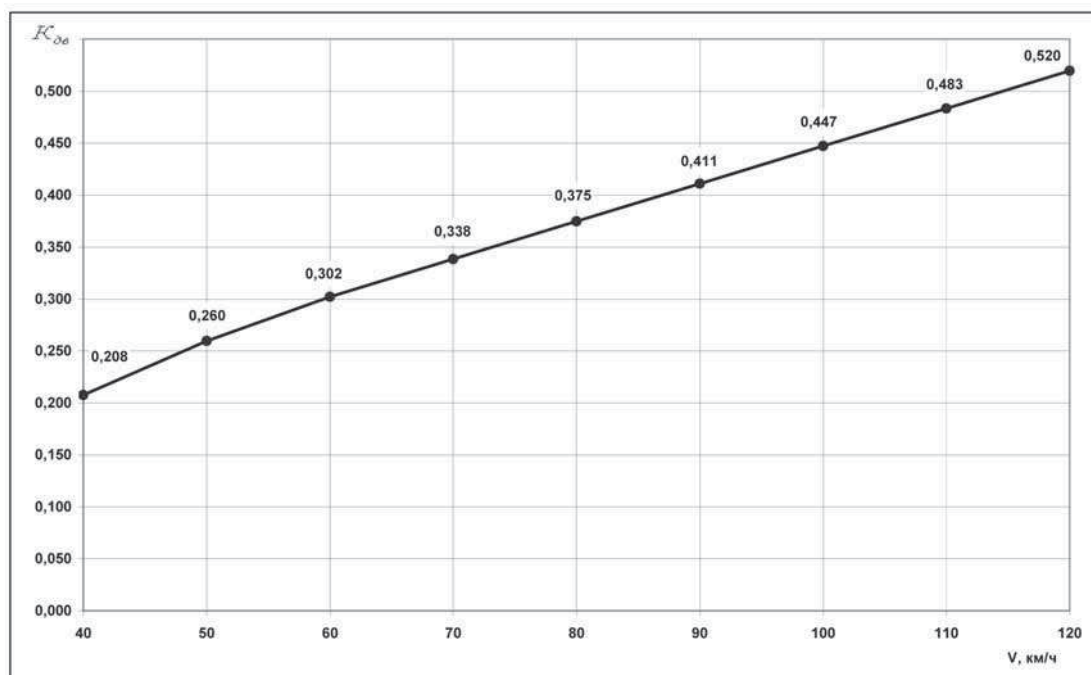


Рис. 5. Коэффициенты вертикальной динамики необрессоренных частей тележек

динамическое воздействие на путь будет изменяться в соответствии с изменением скорости движения.

С учетом характера изменения динамической погонной нагрузки на путь при торможении

средняя величина динамической силы за время торможения определится по формуле:

$$q_{\text{дин, торм}} = \frac{q_{\text{дин,1}} + q_{\text{дин,2}}}{2}, \quad (12)$$

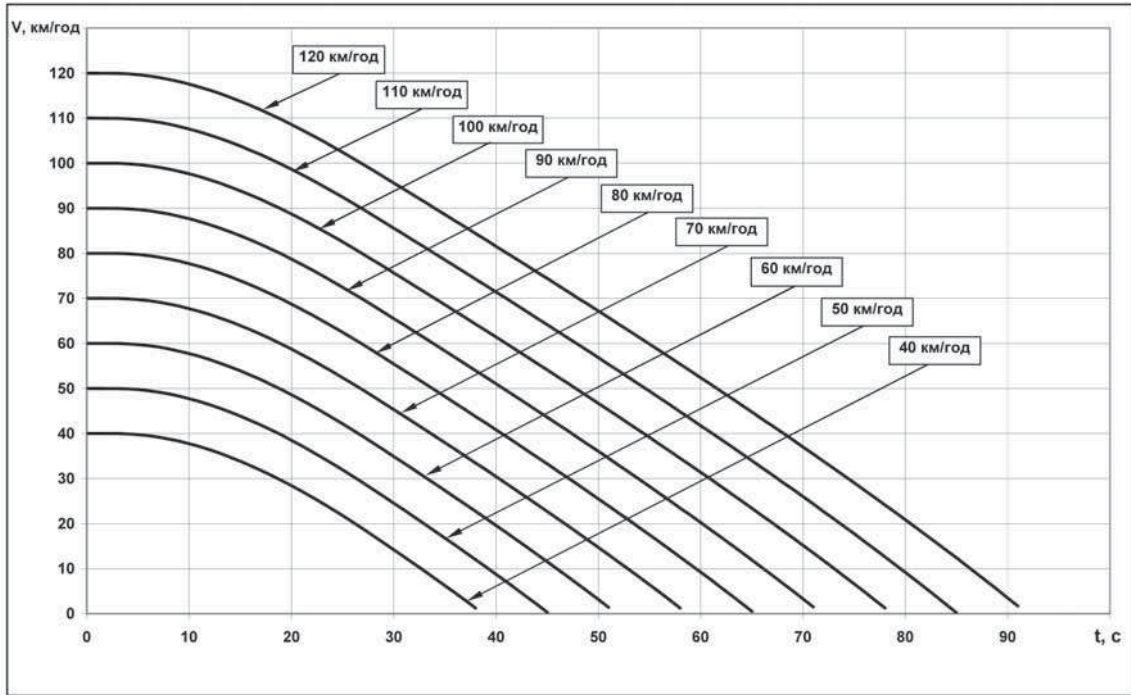


Рис. 6. Изменение скорости движения вагона при торможении

где $q_{дин,1}$ и $q_{дин,2}$ — динамическая сила соответственно в начале и конце торможения.

Результаты расчета приведены на рис. 7.

Оценка воздействия на путь в допустимом диапазоне скоростей движения производилась по формуле:

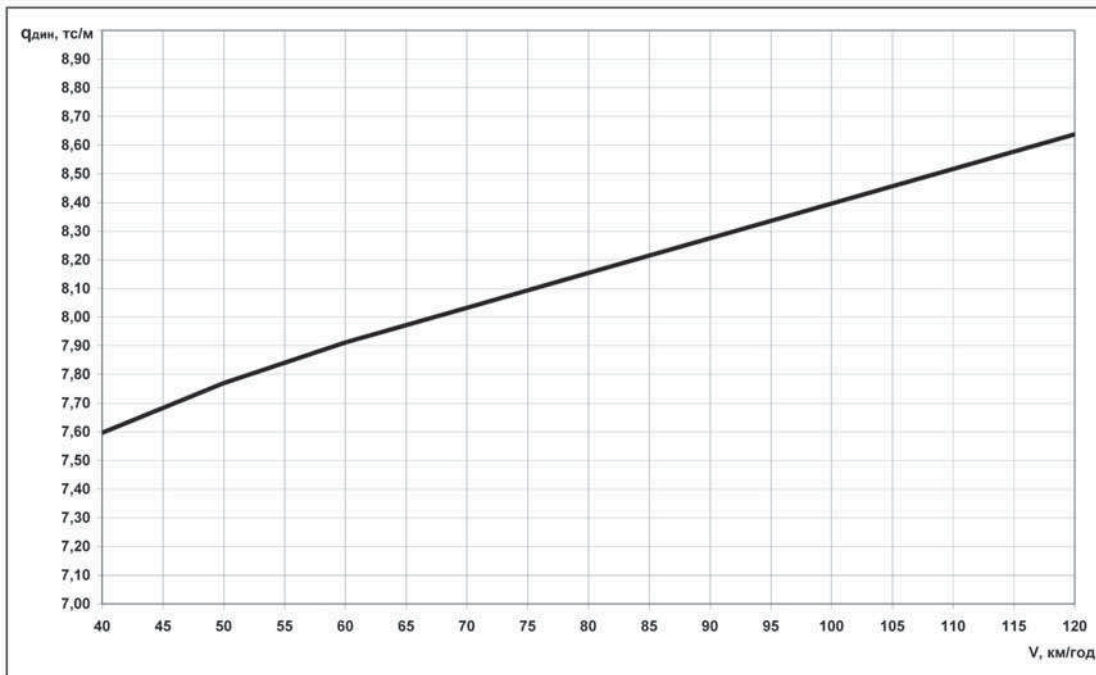


Рис. 7. Средняя динамическая погонная нагрузка на путь при торможении вагона

$$\sum_{i=1}^n A_{дин}(V_i) = \sum_{i=1}^n q_{дин}(V_i) \cdot P(V_i), \quad (13)$$

где $A_{дин}(V_i)$ — динамическое воздействие на путь с учетом вероятности движения поезда со скоростью V_i ;

$q_{дин}(V_i)$ — динамическое воздействие на путь при скорости V_i ;

$P(V_i)$ — вероятность движения поезда со скоростью V_i .

Результаты расчета по формуле 13 представлены в таблице 2.

Выводы

1. Динамическая погонная нагрузка на рельсы при торможении зависит от тормозной силы, с увеличением тормозной силы (тормозной эффективности) увеличивается динамическая погонная нагрузка от колесных пар на рельсы.

2. Представленная методика позволяет оценивать воздействие на путь при торможении как грузовых, так и пассажирских вагонов.

Таблица 2

Динамическая сила воздействия на путь по интервалам скоростей движения в начале торможения (платформа на тележках модели 18-100)

Диапазон скорости движения, км/ч	Вероятность [3], $P(V_i)$	Средняя динамическая погонная нагрузка на путь при торможении, тс/м	
		$q_{дин}(V_i)$	$A_{дин}(V_i)$
0–45	0,03	7,596	0,228
45–54	0,07	7,770	0,544
54–63	0,09	7,912	0,712
63–72	0,12	8,033	0,964
72–81	0,16	8,154	1,305
81–90	0,19	8,275	1,572
90–99	0,16	8,275	1,324
99–108	0,1	8,396	0,840
108–117	0,06	8,517	0,511
117–126	0,02	8,638	0,173
Итого			8,17

Литература

1. В.М. Казаринов, В.Г. Иноземцев, В.Ф. Ясенцев. Теоретические основы проектирования и эксплуатации автотормозов. — Из-во "Транспорт", 1968.

2. Протокол № 530 от 20 сентября 2005 г. предварительных поездных испытаний вагона для перевозки контейнеров модели 13-7024, ВЦ ПВ УкрНИИВ.

3. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). — ГосНИИВ-ВНИИЖТ, 1996.