УДК 629.4.077-592.117.001.4

Ю.Я. Водянников, А.М. Сафронов, С.М. Свистун, К.Л. Жихарцев

ОЦЕНКА ТОРМОЗНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПАССАЖИРСКОГО ПОЕЗДА С ДИСКОВЫМИ ТОРМОЗАМИ НА СООТВЕТСТВИЕ НОРМАТИВНЫМ ТРЕБОВАНИЯМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НОМОГРАММ

Предложены номограммы и аналитические зависимости для оценки тормозной эффективности пассажирских поездов с дисковыми тормозами на соответствие, действующих в Украине требований для пассажирских вагонов с колодочными тормозами.

В настоящее время в Украине действуют нормативные требования к тормозной эффективности пассажирских поездов с колодочными тормозами. Критерием оценки является расчетный тормозной коэффициент и единое наименьшее тормозное нажатие колодок в пересчете на чугунные колодки. Так для скорости 160 км/ч расчетный коэффициент силы нажатия композиционных колодок при электропневматическом торможении должен составлять не менее 0,28, при пневматическом – 0,30 [1].

Для допустимых максимальных скоростей движения поездов установлено единое наименьшее тормозное нажатие колодок в пересчете на чугунные колодки на кождые 100 тс веса поезда (табл. 1).

Таблица 1. **Единое наименьшее тормозное нажатие чугунных колодок для пассажирских поездов [2]**

Максимальная скорость движения, км/ч	Наименьшее тормозное нажатие колодок на каждые 100 тс веса поезда, тс	Расчетный коэффициент силы нажатия в пересчете на чугунные колодки
до 120 км/ч включительно	60	0,6
от 120 км/ч до 130 км/ч включительно	68	0,68
от 130 км/ч до 140 км/ч включительно	78	0,78
от 140 км/ч до 160 км/ч включительно	80	0,80

Кроме того тормозные пути пассажирских поездов на спусках 6 ‰ и 10 ‰ должны удовлетворять требованиям [3].

Дисковые тормоза по конструктивному исполнению имеют существенные отличия от колодочных, к основным из которых относятся:

© Ю.Я. Водянников, А.М. Сафронов, С.М. Свистун, К.Л. Жихарцев, 2012

- наличие на каждой колесной паре двух и более дисков;

- тормозное воздействие на каждый диск осуществляется через накладки посредством передачи усилий от клещевых механизмов;

- каждый клещевой механизм оборудован тормозным цилиндром со встроенным авторегулятором и держателями для установки накладок;

- коэффициент трения фрикционной пары диск-накладка является постоянной величиной и не зависит от скорости движения и температуры;

- эффективность дискового тормоза определяется по действительному коэффициенту силы нажатия накладок на диски ($\delta_д$), приведенных к поверхности катания колеса:

$$\delta_д = \frac{\sum_{i=1}^{n} K_д}{Q+T} \cdot \frac{r_{тр}}{R_к} \quad , \qquad (1)$$

где $K_д$ - действительная сила нажатия накладки на диск, тс;

Q -полезная нагрузка, тс;

T - тара вагона, тс;

$r_{тр}$ - радиус трения тормозного диска, мм;

$R_к$ - расчетный радиус колеса по кругу катания, мм;

Наличие противоюзного устройства.

Очевидно, для оценки тормозной эффективности поезда с дисковым тормозом на соответствие нормативным требованиям необходим пересчет на колодочный тормоз.

В качестве критерия для пересчета принимаются фактические значения тормозных путей пассажирского поезда при экстренных пневматических и электропневматических торможениях, измеренных в результате ходовых тормозных испытаний. Для пересчета тормозных коэффициентов предложены номограммы (рис. 1 и 2) и аналитические выражения.

В качестве аналитической зависимости тормозного коэффициента от тормозного пути принимается степенная функция:

$$\delta = a_0 \cdot S^{a_1} \qquad (2)$$

Для определения коэффициентов a_0 и a_1, уравнение (2) приводится к линейному виду путем логарифмирования правой и левой частей: $z = b + c \cdot X_1$, где $z = ln(\delta)$; $X_1 = ln(S)$; $c = a_1(\delta)$; $b = ln(a_0)$.

В соответствии с методом наименьших квадратов (МНК) неизвестные коэффициенты линейного уравнения определяются путем решения системы уравнений (3):

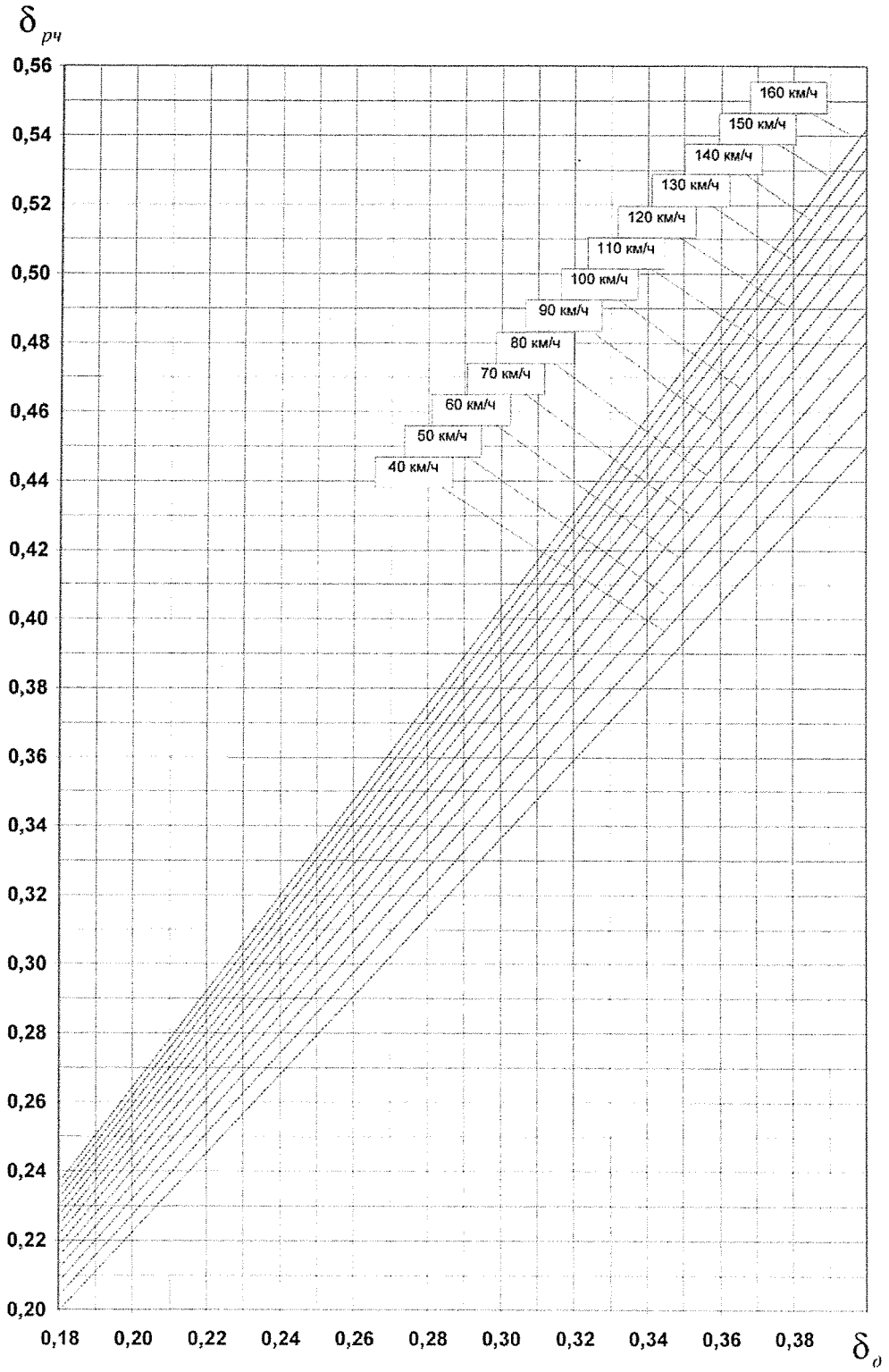

Рис. 1. **Номограммы для пересчета тормозного коэффициента дискового тормоза на колодочный при композиционных колодках**

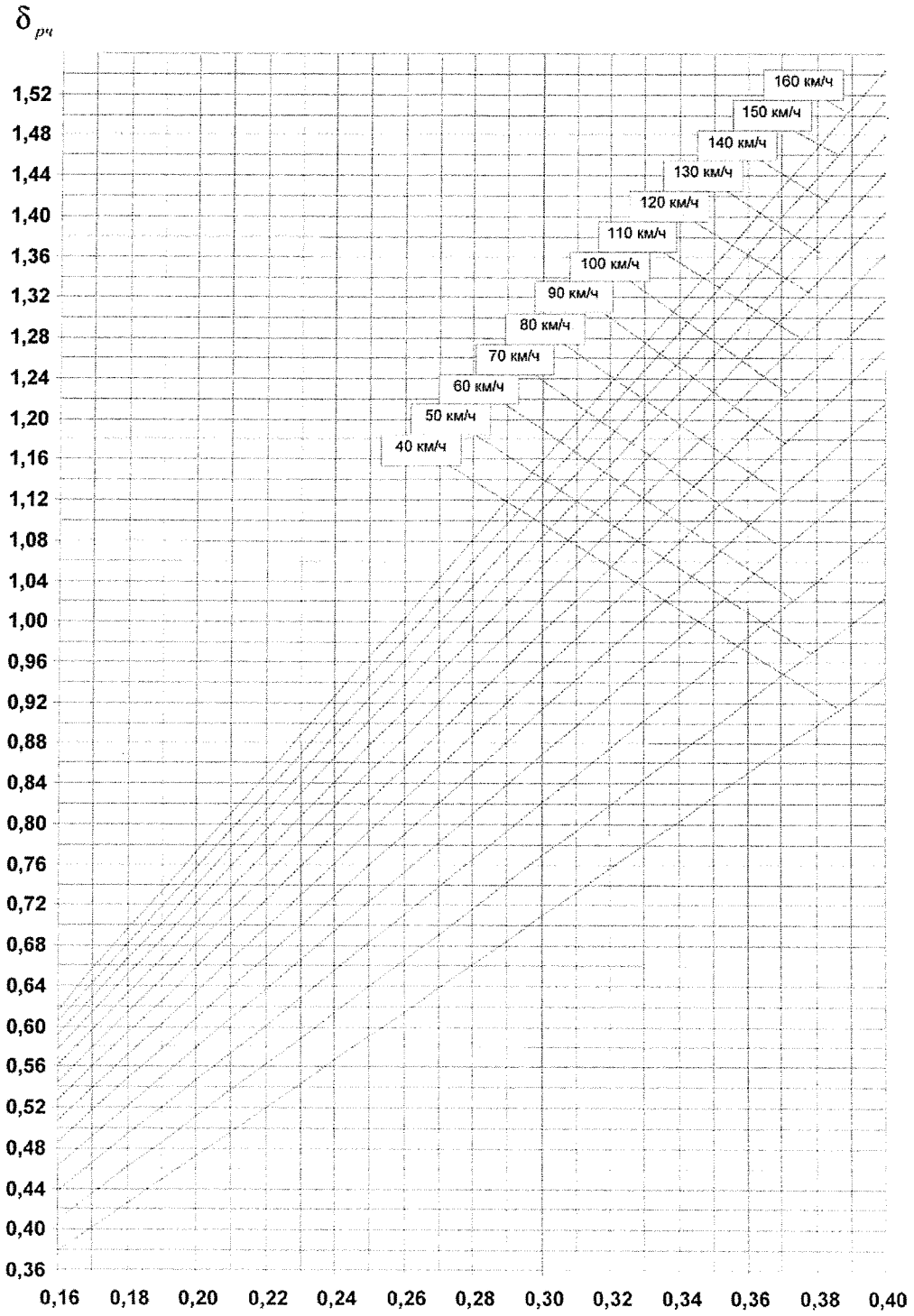

Рис. 2. **Номограммы для пересчета тормозного коэффициента дискового тормоза на колодочный при чугунных колодках**

$$\begin{cases} n \cdot b + c \cdot \sum_{i=1}^{m} X_i = \sum_{i=1}^{m} z_i \\ b \cdot \sum_{i=1}^{m} X_i + c \cdot \sum_{i=1}^{m} X_i^2 = \sum_{i=1}^{m} X_i z_i \end{cases} . \quad (3)$$

Результаты аппроксимации аналитической зависимостью представлены в табл. 2 и 3.

Таблица 2. **Аналитические зависимости тормозного коэффициента ($\delta_к$) от величины тормозного пути (S) пассажирского поезда с композиционными колодками при экстренном торможении на площадке**

V, км/ч	Степенные функции зависимости тормозного коэффициента от тормозного пути пассажирского поезда на площадке	
1	2	3
Электропневматическое торможение		
40	$\delta_к = 141{,}500 \cdot S^{-1{,}3}$	$R^2 = 0{,}999$
50	$\delta_к = 180{,}648 \cdot S^{-1{,}295}$	$R^2 = 0{,}999$
60	$\delta_к = 220{,}507 \cdot S^{-1{,}248}$	$R^2 = 0{,}999$
70	$\delta_к = 263{,}659 \cdot S^{-1{,}213}$	$R^2 = 1{,}000$
80	$\delta_к = 317{,}665 \cdot S^{-1{,}191}$	$R^2 = 1{,}000$
90	$\delta_к = 377{,}228 \cdot S^{-1{,}173}$	$R^2 = 1{,}000$
100	$\delta_к = 445{,}610 \cdot S^{-1{,}160}$	$R^2 = 1{,}000$
110	$\delta_к = 523{,}552 \cdot S^{-1{,}151}$	$R^2 = 1{,}000$
120	$\delta_к = 614{,}610 \cdot S^{-1{,}145}$	$R^2 = 1{,}000$
130	$\delta_к = 715{,}366 \cdot S^{-1{,}140}$	$R^2 = 1{,}000$
140	$\delta_к = 829{,}328 \cdot S^{-1{,}137}$	$R^2 = 1{,}000$
150	$\delta_к = 960{,}304 \cdot S^{-1{,}135}$	$R^2 = 1{,}000$
160	$\delta_к = 1104{,}706 \cdot S^{-1{,}134}$	$R^2 = 1{,}000$
Пневматическое торможение		
40	$\delta_к = 999{,}921 \cdot S^{-1{,}709}$	$R^2 = 0{,}998$
50	$\delta_к = 953{,}406 \cdot S^{-1{,}573}$	$R^2 = 0{,}998$
60	$\delta_к = 895{,}592 \cdot S^{-1{,}469}$	$R^2 = 0{,}999$
70	$\delta_к = 903{,}905 \cdot S^{-1{,}399}$	$R^2 = 0{,}999$
80	$\delta_к = 962{,}183 \cdot S^{-1{,}352}$	$R^2 = 0{,}999$
90	$\delta_к = 1041{,}783 \cdot S^{-1{,}316}$	$R^2 = 0{,}999$

Конец таблицы 2

1	2	3
100	$\delta_к = 1142{,}909 \cdot S^{-1{,}289}$	$R^2 = 1{,}000$
110	$\delta_к = 1237{,}592 \cdot S^{-1{,}266}$	$R^2 = 1{,}000$
120	$\delta_к = 1369{,}908 \cdot S^{-1{,}249}$	$R^2 = 1{,}000$
130	$\delta_к = 1525{,}835 \cdot S^{-1{,}237}$	$R^2 = 1{,}000$
140	$\delta_к = 1691{,}282 \cdot S^{-1{,}226}$	$R^2 = 1{,}000$
150	$\delta_к = 1877{,}245 \cdot S^{-1{,}134}$	$R^2 = 1{,}000$
160	$\delta_к = 2099{,}916 \cdot S^{-1{,}212}$	$R^2 = 1{,}000$

Таблица 3. **Аналитические зависимости тормозного коэффициента ($\delta_к$) от величины тормозного пути (S) пассажирского поезда с чугунными колодками при экстренном торможении на площадке**

V, км/ч	Степенные функции зависимости тормозного коэффициента от тормозного пути пассажирского поезда на площадке	
1	2	3
Электропневматическое торможение		
40	$\delta_ч = 387{,}24 \cdot S^{-1{,}4161} - 1{,}4161$	$R^2 = 0{,}998$
50	$\delta_ч = 452{,}89 \cdot S^{-1{,}3178} - 1{,}3178$	$R^2 = 0{,}9988$
60	$\delta_ч = 543{,}24 \cdot S^{-1{,}2575} - 1{,}2575$	$R^2 = 0{,}9993$
70	$\delta_ч = 657{,}21 \cdot S^{-1{,}218} - 1{,}218$	$R^2 = 0{,}9995$
80	$\delta_ч = 795{,}93 \cdot S^{-1{,}1911} - 1{,}1911$	$R^2 = 0{,}9997$
90	$\delta_ч = 961{,}68 \cdot S^{-1{,}1724} - 1{,}1724$	$R^2 = 0{,}9998$
100	$\delta_ч = 1157{,}6 \cdot S^{-1{,}1593} - 1{,}1593$	$R^2 = 0{,}9999$
110	$\delta_ч = 1387{,}7 \cdot S^{-1{,}1503} - 1{,}1503$	$R^2 = 0{,}9999$
120	$\delta_ч = 1656{,}7 \cdot S^{-1{,}1442} - 1{,}1442$	$R^2 = 1$
130	$\delta_ч = 1970{,}2 \cdot S^{-1{,}1405} - 1{,}1405$	$R^2 = 1$
140	$\delta_ч = 2335 \cdot S^{-1{,}1387} - 1{,}1387$	$R^2 = 1$
150	$\delta_ч = 2759 \cdot S^{-1{,}1383} - 1{,}1383$	$R^2 = 1$
160	$\delta_ч = 3251{,}3 \cdot S^{-1{,}1392} - 1{,}1392$	$R^2 = 1$
Пневматическое торможение		
40	$\delta_ч = 3321{,}328 \cdot S^{-1{,}803} - 1{,}803$	$R^2 = 0{,}995$
50	$\delta_ч = 2565{,}866 \cdot S^{-1{,}608} - 1{,}608$	$R^2 = 0{,}997$
60	$\delta_ч = 2323{,}509 \cdot S^{-1{,}487} - 1{,}487$	$R^2 = 0{,}998$
70	$\delta_ч = 2295{,}859 \cdot S^{-1{,}406} - 1{,}406$	$R^2 = 0{,}998$
80	$\delta_ч = 2387{,}895 \cdot S^{-1{,}350} - 1{,}350$	$R^2 = 0{,}999$
90	$\delta_ч = 2563{,}547 \cdot S^{-1{,}309} - 1{,}309$	$R^2 = 0{,}999$

Конец таблицы 3

1	2	3
100	$\delta_ч = 2808{,}681 \cdot S^{-1{,}352}279 - 1{,}279$	$R^2 = 0{,}999$
110	$\delta_ч = 3118{,}996 \cdot S^{-1{,}257} - 1{,}257$	$R^2 = 1{,}000$
120	$\delta_ч = 3495{,}570 \cdot S^{-1{,}240} - 1{,}240$	$R^2 = 1{,}000$
130	$\delta_ч = 3942{,}901 \cdot S^{-1{,}228} - 1{,}228$	$R^2 = 1{,}000$
140	$\delta_ч = 4468{,}097 \cdot S^{-1{,}219} - 1{,}219$	$R^2 = 1{,}000$
150	$\delta_ч = 5080{,}584 \cdot S^{-1{,}212} - 1{,}212$	$R^2 = 1{,}000$
160	$\delta_ч = 5792{,}219 \cdot S^{-1{,}208} - 1{,}208$	$R^2 = 1{,}000$

Проверка эффективности тормозной системы пассажирского поезда на соответствие инструкции ЦШ/0001 [3] осуществляется по номограммам (рис. 3 и 4) с использованием тормозного коэффициента пересчитанного на композиционные колодки, а для оценки тормозных путей в диапазоне (40-160) км/ч используется формула [4]:

$$S_i(V_i) = S_0(V_i) + \frac{i \cdot g \cdot t_s^2}{2000}, \qquad (4)$$

где S_i – тормозной путь на i-ом уклоне, м;
S_0 - тормозной путь на площадке, м;
V – скорость в начале торможения, км/ч;
i – величина спуска, ‰;
g = 9,81 м/с²;
t_s - время торможения, с

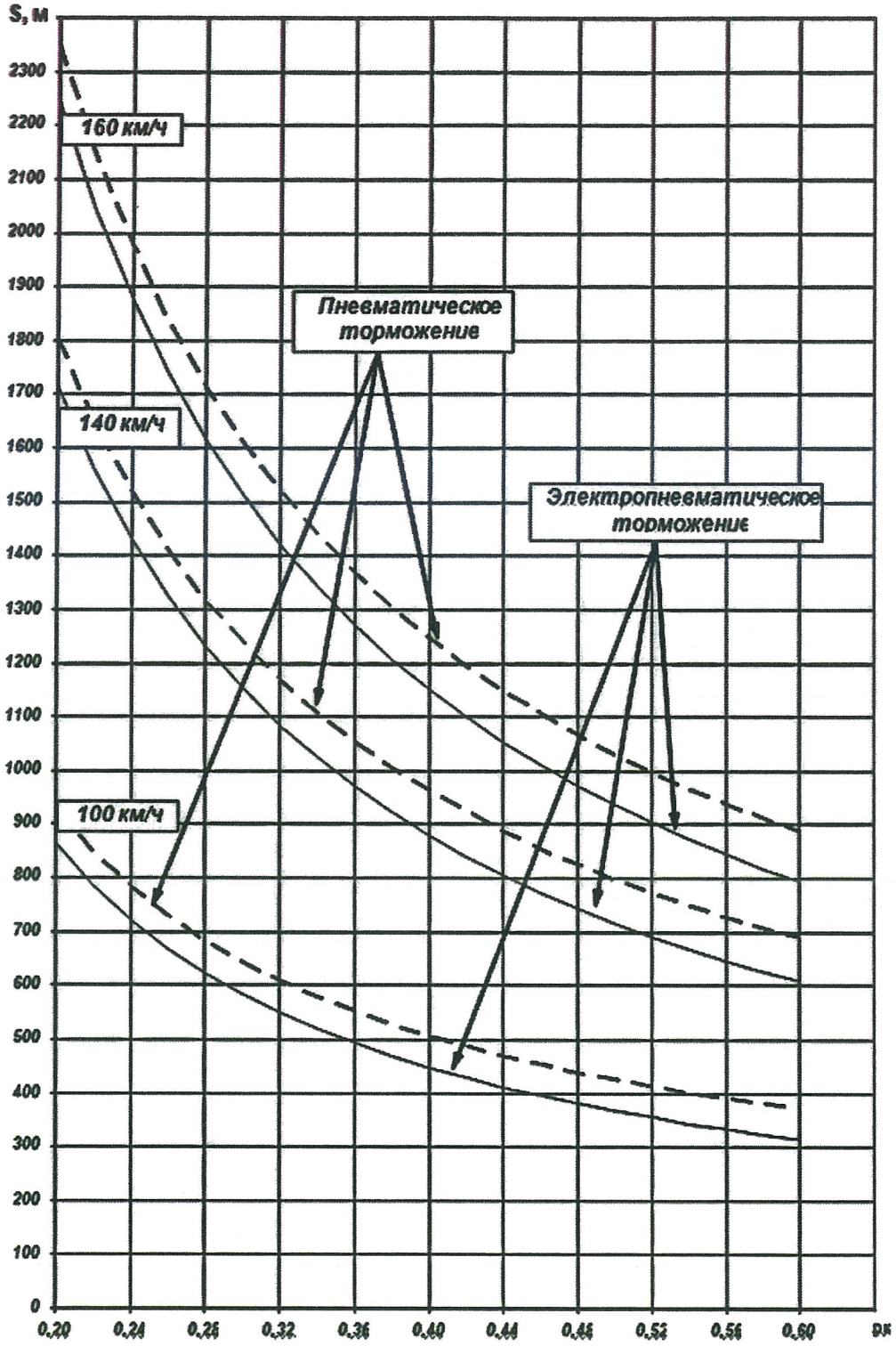

Рис. 3. **Номограммы для определения тормозного пути пассажирского поезда на спуске 6 ‰ при композиционных колодках**

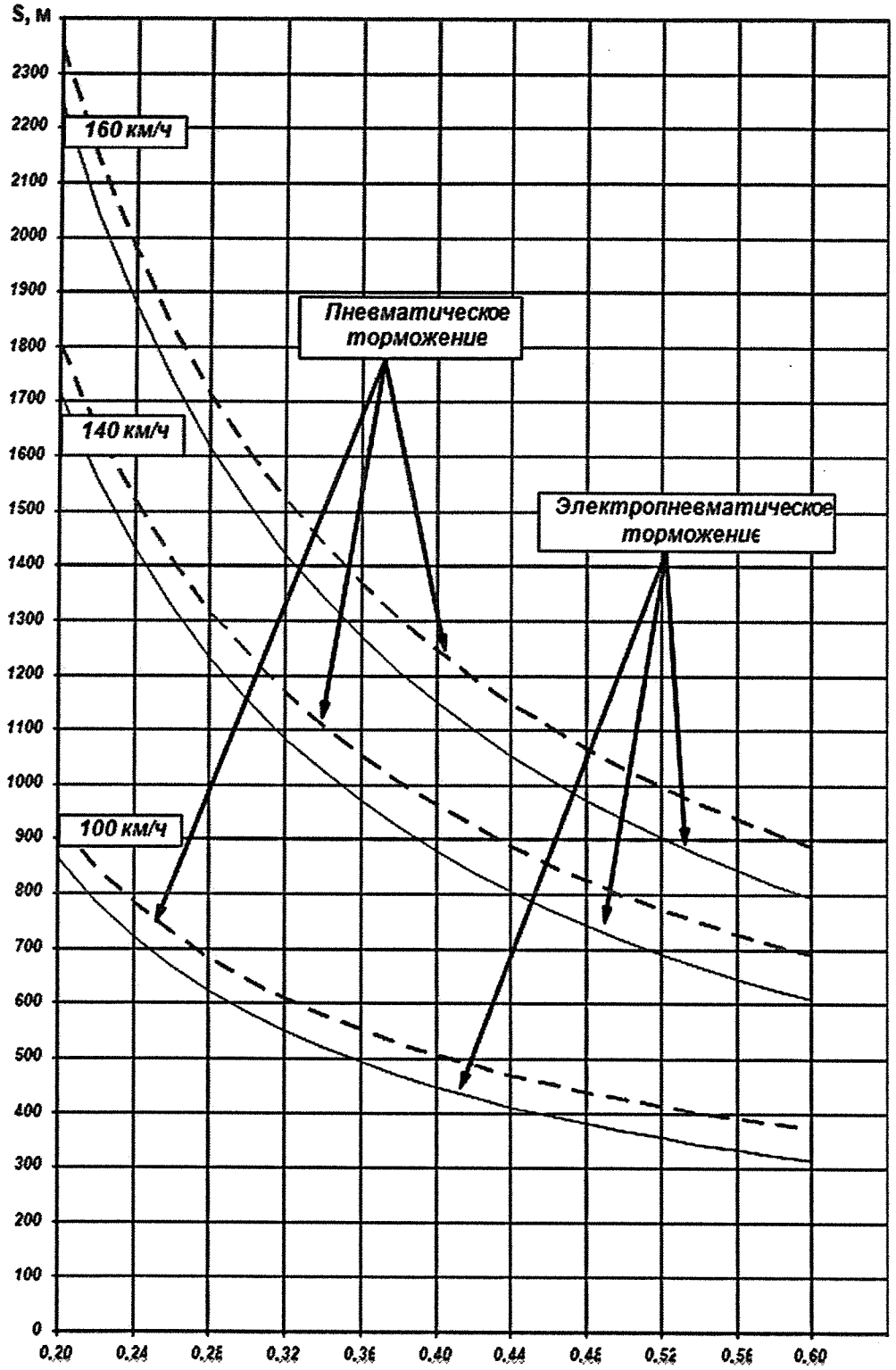

Рис. 4. **Номограммы для определения тормозного пути пассажирского поезда на спуске 10 ‰ при композиционных колодках**

Выводы

Оценка тормозной эффективности пассажирского поезда с дисковыми тормозами с использованием номограмм и полученных аналитических зависимостей на соответствие существующих нормативных требований для пассажирских поездов с колодочными тормозами позволяет в значительной степени упростить такую оценку.

ЛИТЕРАТУРА

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

2. ЦТ-ЦВ-ЦЛ-0015. Інструкція з експлуатації гальм рухомого складу на залізницях України, Київ, Транспорт України 2002.

3. ЦШ/0001. Інструкція з сигналізації на залізницях України, Київ – 1995.

4. СПРАВОЧНИК. Тяговые расчеты. П.Т.Гребенюк, А.Н.Долганов, А.И.Скворцова. Москва. «Транспорт 1987.