

УДК 629.4.077-592.117.001.4

*А.В. Донченко, Ю.Я. Водяников, Т.В. Шелейко*

## ТОРМОЗНОЙ ВЕС (ПРОЦЕНТ ТОРМОЗНОГО ВЕСА) ПАССАЖИРСКИХ ВАГОНОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ КОЛЕИ 1520 ММ

*Предложен алгоритм определения тормозной эффективности пассажирских вагонов на стадии проектирования применительно к требованиям ОСЖД и МСЖД. Представлены таблицы и номограммы для пересчета расчетного коэффициента силы нажатия колодок для колодочного тормоза и удельной тормозной силы для дискового на тормозной вес (процент тормозного веса) пассажирских вагонов.*

Тормозные системы являются важнейшими составными частями пассажирских вагонов, отвечающими за безопасность движения. Методика тормозных расчетов на европейских железных дорогах МСЖД отличается от принятой на железных дорогах ОСЖД, поэтому одной из наиболее актуальных задач является оценка соответствия тормозной эффективности отечественных пассажирских вагонов требованиям МСЖД.

Для стран МСЖД технической характеристикой тормозной системы вагонов, определяющей ее эффективность и применяющейся при установлении допустимых скоростей движения, является процент тормозного веса. В этой связи для международного сообщения составлены переводные таблицы, в которых указаны показатели эффективности действия тормозов отечественных вагонов по нормам МСЖД и наоборот.

Однако переводные таблицы имеют ограниченное применение, так как не учитывают новые тенденции в развитии пассажирского вагоностроения, которые состоят в использовании дисковых тормозных систем, а также повышении скоростей движения пассажирских поездов до 200 км/ч.

Очевидно, при создании пассажирских вагонов нового поколения назрела необходимость в определении тормозного веса пассажирского вагона на стадии проектирования, а также по результатам испытаний тормозной системы. Зная тормозной вес и процент тормозного веса вагонов можно подсчитать тормозной вес поезда и процент тормозного веса, а по нормам МСЖД установить допустимую скорость движения поезда или определить длину тормозного пути.

Тормозной вес пассажирского вагона  $B$  определяется по формуле [1]:

$$B = \sum_{i=1}^m K \cdot q \quad (1)$$

где  $K$  - действительная сила нажатия чугунной колодки на колесо;

$m$  - число тормозных колодок, установленных на вагоне.

$q$  - коэффициент, полученный опытным путем как функция силы нажатия на тормозную колодку, определяется по формуле (рис. 1):

$$q = 0.046667 \cdot K^2 - 0.37 \cdot K + 1.823333 \quad (2)$$

© *А.В. Донченко, Ю.Я. Водяников, Т.В. Шелейко, 2011*

## РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

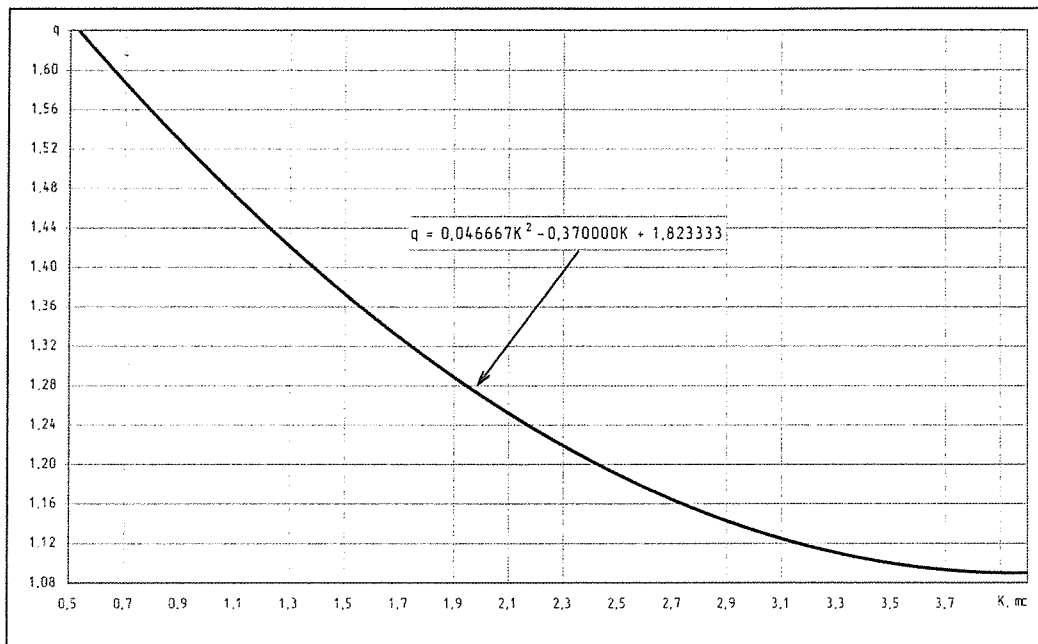


Рис. 1. Коэффициент для определения тормозного веса пассажирского вагона

Вводя среднюю величину силы нажатия чугунной колодки на колесо:

$$K_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^m K}{m} \quad (3)$$

где  $m$  - число тормозных колодок установленных на вагоне, формула (1) для определения тормозного веса пассажирского вагона с учетом формулы (2) может быть записана в виде:

$$B = m \cdot K \cdot (0,046667 \cdot K^2 - 0,37 \cdot K + 1,823333) \quad (4)$$

Так как для пассажирских вагонов используется двухстороннее нажатия тормозных колодок на колеса ( $m=16$ ), то формула (4) запишется в виде:

$$B = 0,746672 \cdot K^3 - 5,92 \cdot K^2 + 29,17333 \cdot K \quad (5)$$

Зависимость расчетной силы нажатия ( $K_p$ ) от действительной силы ( $K$ ) определяется по формуле [2]:

$$K_p = 2,22 \cdot K \cdot \frac{K + 6,25}{5 \cdot K + 6,25} \quad (6)$$

Выражая действительную силу нажатия через расчетную, получим:

$$K = \frac{13,875 - 5 \cdot K_p + \sqrt{(13,875 - 5 \cdot K_p) - 6,25 \cdot K_p}}{4,44} \quad (7)$$

## РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Путем подстановки (10) в (8) зависимость тормозного веса грузового вагона от расчетной силы нажатия определится по формуле:

$$B = 0,69443 \cdot K_p^4 - 4,706665 \cdot K_p^3 + 11,323574 \cdot K_p^2 + 8,465157 \cdot K_p \quad (8)$$

На рис. 2 представлены номограммы для определения тормозного веса пассажирского вагона в зависимости от величины действительной и расчетной сил нажатия чугунных колодок на колеса.

Погрешность определения тормозного веса по действительной и расчетной силе нажатия чугунной колодки, определяемая по формуле:

$$\Delta = \frac{B(K) - B(K_p)}{B(K)} \cdot 100\% \quad (9)$$

не превышает 1% для действительных сил нажатия более 1,6 тс (рис. 3).

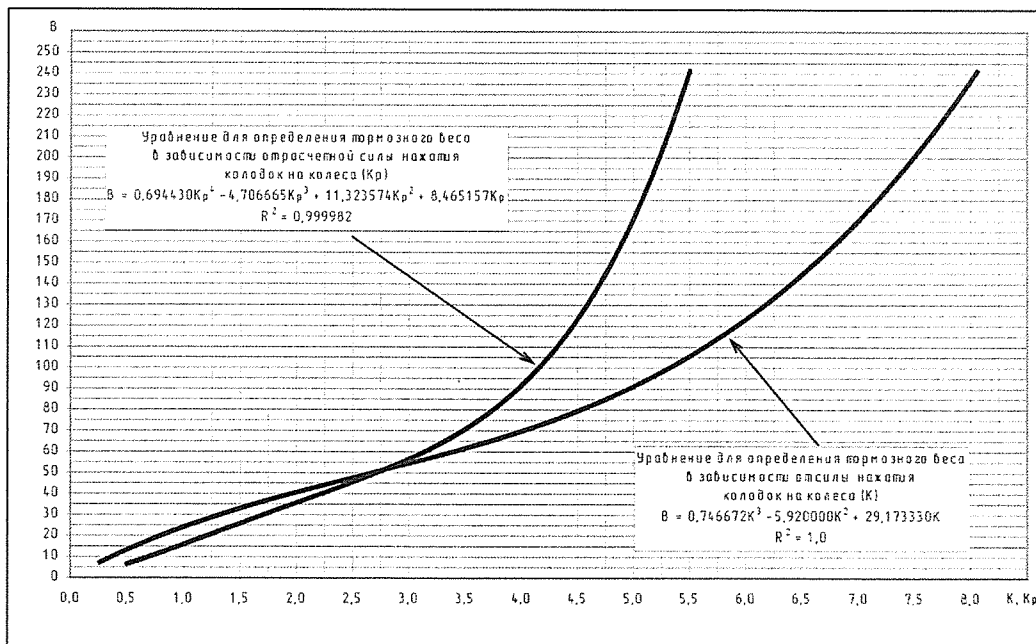
Тормозной путь пассажирского поезда зависит от величины ( $\delta_p$ ) расчетного коэффициента силы нажатия колодок на колеса (тормозного коэффициента), определяемого по формуле [2]:

$$\delta_p = \frac{K_p \cdot m}{Q_{бр}} = \frac{K_p \cdot n}{q_{ос}} \quad (10)$$

где  $K_p$  - расчетная сила нажатия колодки на колесо, тс;

$m$  - число тормозных колодок, установленных на вагоне;

$Q_{бр}$  - брутто (вес) вагона с грузом или без груза, тс.



**Рис. 2. Номограммы для определения тормозного веса грузового вагона в зависимости от действительной и расчетной сил нажатия колодки на колесо**

## РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

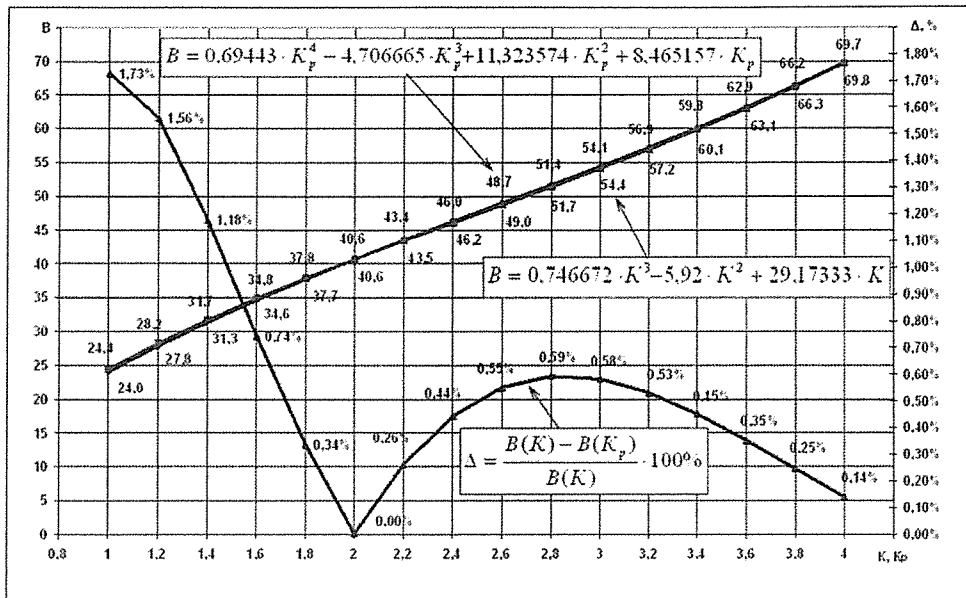


Рис. 3. Погрешность определения тормозного веса по расчетной силе нажатия чугунных колодок

$q_{oc}$  - осевая нагрузка, тс;

$n$  - количество тормозных колодок, установленных на колесной паре.

Для определения аналитической зависимости тормозного веса ( $B$ ) от тормозного коэффициента чугунных колодок ( $\delta_{пч}$ ) приведем формулу (10) к виду:

$$K_p = \frac{\delta_p \cdot q_{oc}}{n} \quad (11)$$

Подставляя выражение (11) в формулу (8), получим:

$$B = 0,6944 \cdot \left( \frac{\delta_{пч} \cdot q_{oc}}{n} \right)^4 - 4,70666 \cdot \left( \frac{\delta_{пч} \cdot q_{oc}}{n} \right)^3 + 11,32357 \cdot \left( \frac{\delta_{пч} \cdot q_{oc}}{n} \right)^2 + 8,46516 \cdot \left( \frac{\delta_{пч} \cdot q_{oc}}{n} \right) \quad (12)$$

Учитывая, что для отечественных пассажирских вагонов в основном используется двухстороннее тормозное нажатие ( $n=4$ ), формула (12) запишется в виде:

$$B = 0,002713 \cdot (\delta_{пч} \cdot q_{oc})^4 - 0,07354 \cdot (\delta_{пч} \cdot q_{oc})^3 + 0,70772 \cdot (\delta_{пч} \cdot q_{oc})^2 + 2,11629 \cdot (\delta_{пч} \cdot q_{oc}) \quad (13)$$

Из анализа формулы (13) вытекает, что тормозной вес пассажирского вагона зависит как тормозного коэффициента ( $\delta_p$ ), так и от осевой нагрузки ( $q_{oc}$ ).

## РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Процент тормозного веса определяется по формуле:

$$\lambda = \frac{B}{Q_{\text{бр}}} \cdot 100 \% = \frac{B}{q_{\text{ос}} \cdot k} \cdot 100 \% \quad (14)$$

где  $B$  – тормозной вес, определяемый по формуле (13);

$k$  – количество осей;

$Q_{\text{бр}}$  – брутто вагона;

$q_{\text{ос}}$  – осевая нагрузка вагона, тс.

Подставляя в формулу (14) выражение (13), получим;

$$\lambda = \left( \frac{0,002713 \cdot \delta_{\text{рч}}^4 \cdot q_{\text{ос}}^3 - 0,07354 \cdot \delta_{\text{рч}}^3 \cdot q_{\text{ос}}^2 + 0,70772 \cdot \delta_{\text{рч}}^2 \cdot q_{\text{ос}} + 2,11629 \cdot \delta_{\text{рч}}}{k} \right) \cdot 100 \% \quad (15)$$

Эксплуатация пассажирских поездов на чугунных колодках осуществляется для скоростей до 120 км/ч включительно, для более высоких скоростей используются композиционные колодки. Это обусловлено тем, что при скоростях более 120 км/ч чугунные колодки обладают низким коэффициентом трения по сравнению с композиционными, следовательно, и низкой тормозной эффективностью.

Для того, чтобы получить зависимости тормозного веса и процента тормозного веса от расчетного коэффициента силы нажатия композиционных колодок, необходимо иметь формулы пересчета композиционных колодок на чугунные.

Такой пересчет может быть выполнен исходя из равенства тормозных путей пассажирского поезда на площадке при композиционных и чугунных колодках:

$$S_k(V_0) = \sum \frac{4,17 \cdot (V_n - V_k)}{1000 \cdot \phi_{\text{мч}} \cdot \delta_{\text{рч}} + w_{\text{ос}}} \quad (16)$$

где  $S_k(V_0)$  – действительный тормозной путь поезда при композиционных колодках, м

$V_0$  – скорость в начале торможения;

$V_n$  и  $V_k$  – начальная и конечная скорости выбранного диапазона скоростей, км/ч;

$\phi_{\text{мч}}$  – коэффициент трения чугунных колодок;

$\delta_{\text{рч}}$  – расчетный коэффициент силы нажатия чугунных колодок;

$w_{\text{ос}}$  – удельное основное сопротивление движению поезда при средней скорости в каждом интервале, кгс/тс.

Для пересчета композиционных колодок на чугунные используется рекуррентная формула:

$$\delta_{\text{рч}}^{(i)} = \frac{1}{S_k(V_0)} \sum \frac{4,17 \cdot (V_n - V_k)}{1000 \cdot \phi_{\text{мч}} + \frac{w_{\text{ос}}}{\delta_{\text{рч}}^{(i-1)}}} \quad (17)$$

В качестве нулевого приближения принимается значение тормозного коэффициента чугунных колодок, равное  $\delta_{\text{рч}}^{(0)} = 1$ . Итерационный процесс выполняется до тех пор, пока разность тормозных путей превышает величину  $\xi(|S_k(V_0) - S_{\text{ч}}(V_0)| \leq \xi)$ , где  $S_{\text{ч}}(V_0)$  – действительный тормозной путь поезда при чугунных колодках. Как показали расчеты, итерационный процесс является быстросходящимся и уже на третьей итерации достигается требуемая точность ( $\xi=0,1$ ).

## РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

По изложенному алгоритму были получены аналитические выражения для пересчета тормозных коэффициентов композиционных колодок на чугунные, представленные в таблице 1.

Формулы для определения тормозного веса (13) и процента тормозного веса (15) в зависимости от расчетного коэффициента силы нажатия композиционных колодок с учетом формул таблицы 1 принимают вид:

$$B = 0,002713 \cdot (a \cdot \delta_{pk} \cdot q_{oc})^4 - 0,07354 \cdot (a \cdot \delta_{pk} \cdot q_{oc})^3 + 0,70772 \cdot (a \cdot \delta_{pk} \cdot q_{oc})^2 + 2,11629 \cdot (a \cdot \delta_{pk} \cdot q_{oc}) \quad (18)$$

$$\lambda = \left( \frac{0,002713 \cdot a^4 \cdot \delta_{pk}^4 \cdot q_{oc}^3 - 0,07354 \cdot a^3 \cdot \delta_{pk}^3 \cdot q_{oc}^2 + 0,70772 \cdot a^2 \cdot \delta_{pk}^2 \cdot q_{oc} + 2,11629 \cdot a \cdot \delta_{pk}}{0,002713 \cdot a^4 \cdot \delta_{pk}^4 \cdot q_{oc}^3 - 0,07354 \cdot a^3 \cdot \delta_{pk}^3 \cdot q_{oc}^2 + 0,70772 \cdot a^2 \cdot \delta_{pk}^2 \cdot q_{oc} + 2,11629 \cdot a \cdot \delta_{pk}} \right) \cdot \frac{100\%}{k} \quad (19)$$

Длина тормозного пути пассажирских поездов на европейских железных дорогах рассчитывается по эмпирической формуле [1]:

$$S_T = \frac{\phi \cdot V_0^2}{1,094 \cdot \lambda_1 + 0,127 - 0,235 \cdot i \cdot \phi} \quad (20)$$

Таблица 1. Формулы для пересчета композиционных колодок на чугунные

$V$ , км/ч	Аналитическая зависимость	$V$ , км/ч	Аналитическая зависимость	$V$ , км/ч	Аналитическая зависимость
20	$\delta_{pc} = 1,8099 \cdot \delta_{pk}$	70	$\delta_{pc} = 2,4175 \cdot \delta_{pk}$	120	$\delta_{pc} = 2,7014 \cdot \delta_{pk}$
25	$\delta_{pc} = 1,8955 \cdot \delta_{pk}$	75	$\delta_{pc} = 2,4553 \cdot \delta_{pk}$	125	$\delta_{pc} = 2,7213 \cdot \delta_{pk}$
30	$\delta_{pc} = 1,9763 \cdot \delta_{pk}$	80	$\delta_{pc} = 2,4904 \cdot \delta_{pk}$	130	$\delta_{pc} = 2,7400 \cdot \delta_{pk}$
35	$\delta_{pc} = 2,0498 \cdot \delta_{pk}$	85	$\delta_{pc} = 2,5232 \cdot \delta_{pk}$	135	$\delta_{pc} = 2,75795 \cdot \delta_{pk}$
40	$\delta_{pc} = 2,1166 \cdot \delta_{pk}$	90	$\delta_{pc} = 2,5537 \cdot \delta_{pk}$	140	$\delta_{pc} = 2,7747 \cdot \delta_{pk}$
45	$\delta_{pc} = 2,1777 \cdot \delta_{pk}$	95	$\delta_{pc} = 2,5821 \cdot \delta_{pk}$	145	$\delta_{pc} = 2,7907 \cdot \delta_{pk}$
50	$\delta_{pc} = 2,2338 \cdot \delta_{pk}$	100	$\delta_{pc} = 2,6090 \cdot \delta_{pk}$	150	$\delta_{pc} = 2,8059 \cdot \delta_{pk}$
55	$\delta_{pc} = 2,2854 \cdot \delta_{pk}$	105	$\delta_{pc} = 2,6342 \cdot \delta_{pk}$	155	$\delta_{pc} = 2,8203 \cdot \delta_{pk}$
60	$\delta_{pc} = 2,3329 \cdot \delta_{pk}$	110	$\delta_{pc} = 2,6579 \cdot \delta_{pk}$	160	$\delta_{pc} = 2,8340 \cdot \delta_{pk}$
65	$\delta_{pc} = 2,3769 \cdot \delta_{pk}$	115	$\delta_{pc} = 2,6803 \cdot \delta_{pk}$		

где  $V_0$  – скорость в начале торможения, км/ч;

$\lambda_1$  – коэффициент тормозного веса,  $\lambda_1 = \frac{B}{Q_{бр}}$  ;

$i$  – спуск, ‰;

$\phi$  – коэффициент, полученный опытным путем как функция скорости, определяется по формуле (рис. 4):

$$\phi = 0,00018 \cdot V + 0,048 \quad (21)$$

## РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

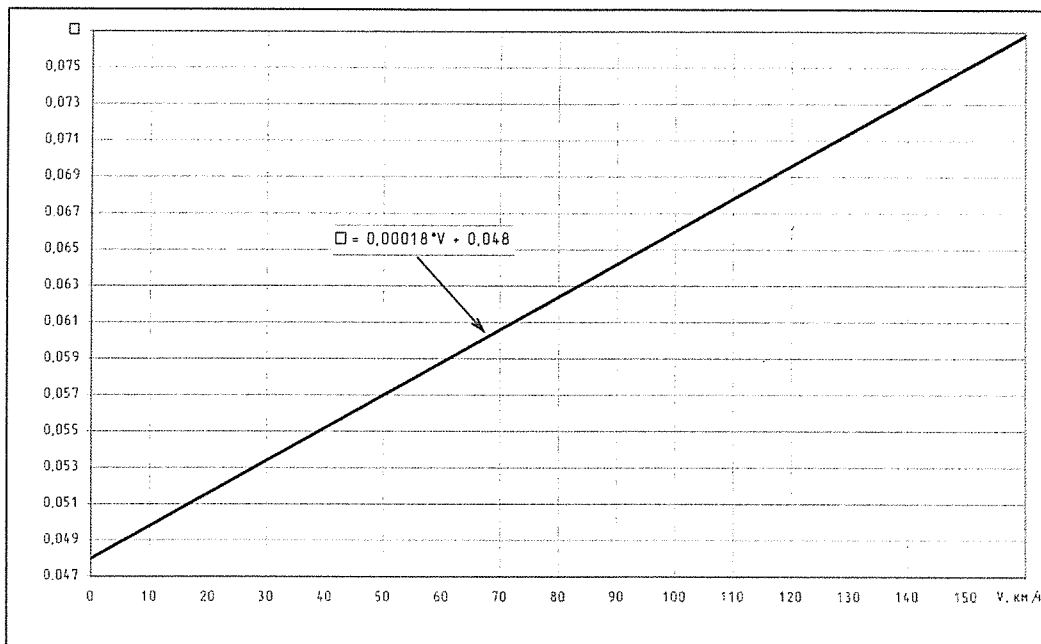
При известном значении тормозного пути на площадке ( $i=0$ ) коэффициент тормозного веса определится по формуле, полученной из формулы (20):

$$\lambda_1 = \frac{\phi \cdot V_0^2}{1,094 \cdot S_T} - 0,11609 \quad (24)$$

Длина тормозного пути и коэффициент тормозного веса с учетом формулы (21) определяются выражениями:

$$S_T = \frac{0,0402 \cdot V^4 - 0,3411 \cdot V^3 + 1,8009 \cdot V^2}{1,094 \cdot \lambda_1 + 0,127 - 0,235 \cdot i \cdot (0,0402 \cdot V^2 - 0,3411 \cdot V + 1,8009)} \quad (25)$$

$$\lambda_1 = \frac{0,00018 \cdot V^3 + 0,048 \cdot V^2}{1,094 \cdot S_T} - 0,11609 \quad (26)$$



**Рис. 4. График зависимости коэффициента  $\phi$  от силы нажатия чугунной колодки на колесо**

С учетом формул (25) и (26), а также таблиц тормозных путей пассажирского поезда в зависимости от тормозных коэффициентов при чугунных и композиционных колодках, построены номограммы для пересчета тормозных коэффициентов на процент тормозного веса (рис. 5 и 6).

На рис. 7 и 8 приведены номограммы для определения тормозного пути и тормозного веса пассажирского поезда при экстренном торможении на площадке.

В таблице 2 приведены аналитические выражения для определения тормозного пути пассажирского поезда в зависимости от процента тормозного веса, полученные методом интерполяции с применением методов математической статистики.

Для решения обратной задачи по определению процента тормозного веса по заданному значению тормозного пути используется формула:

$$\lambda = \left( \frac{S}{a} \right)^{\frac{1}{b}} \quad (27)$$

## РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

где  $a$  и  $b$  – коэффициенты уравнений таблицы 2.

Определим процент тормозного веса пассажирского поезда, если при скорости 120 км/ч тормозной путь составил 970 м с использованием уравнения таблицы 2 и

$$\lambda = \left( \frac{970}{50613} \right)^{\frac{1}{-0,8957}} = 82,7$$

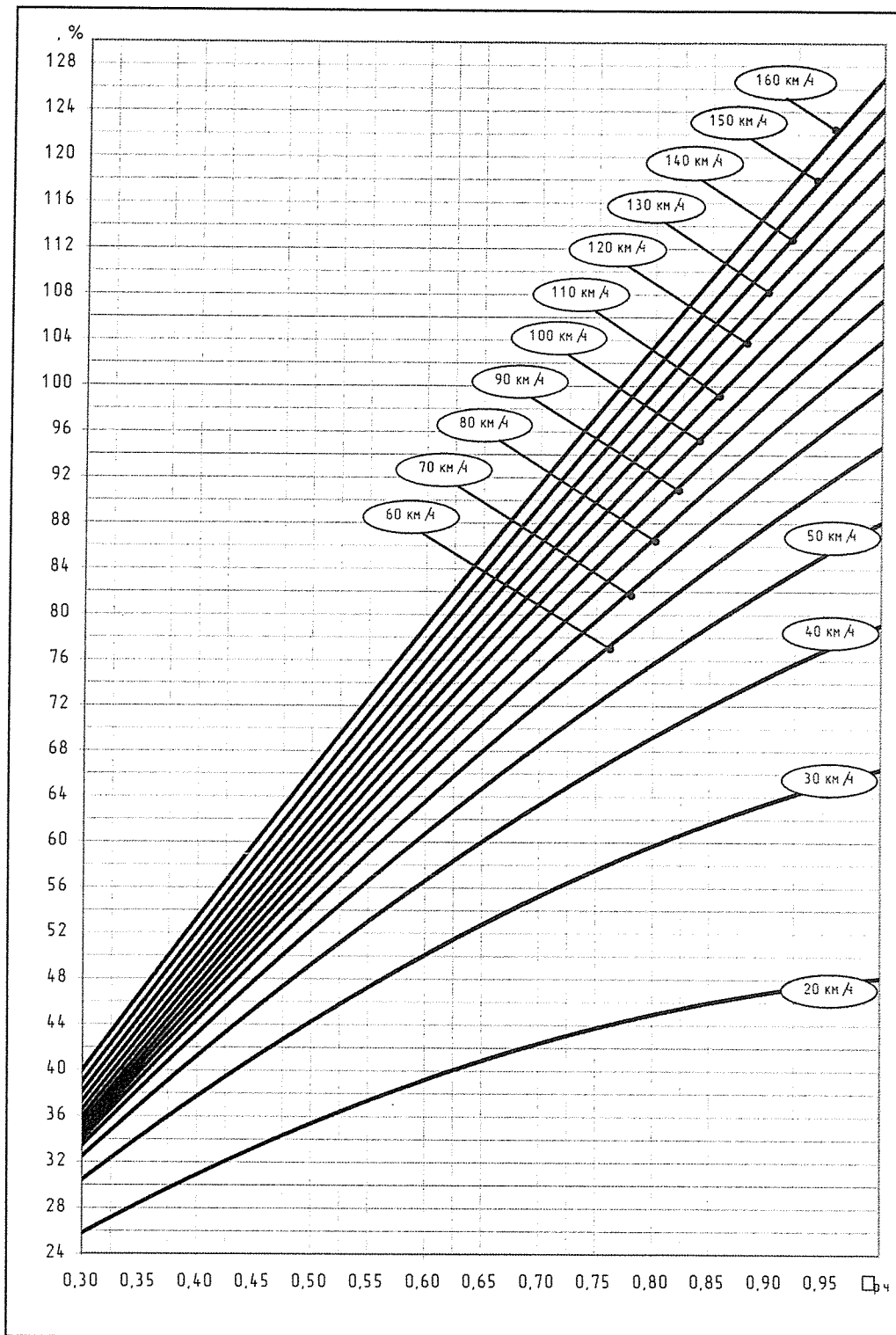
$S = 50613 \cdot \lambda^{-0,8957}$  формулы (27), получим:

*Таблица 2. Определение тормозного пути пассажирского поезда при экстренном торможении на площадке в зависимости от процента тормозного веса ( $\lambda\%$ )*

$V$ , км/ч	Аналитическая зависимость	$V$ , км/ч	Аналитическая зависимость	$V$ , км/ч	Аналитическая зависимость
20	$S = 607,94 \cdot \lambda^{-0,7625}$	70	$S = 13483 \cdot \lambda^{-0,8719}$	120	$S = 50613 \cdot \lambda^{-0,8957}$
25	$S = 1078,3 \cdot \lambda^{-0,7921}$	75	$S = 15942 \cdot \lambda^{-0,8753}$	125	$S = 56055 \cdot \lambda^{-0,8973}$
30	$S = 1705,5 \cdot \lambda^{-0,8121}$	80	$S = 18651 \cdot \lambda^{-0,8784}$	130	$S = 61854 \cdot \lambda^{-0,8989}$
35	$S = 2498,9 \cdot \lambda^{-0,8265}$	85	$S = 21623 \cdot \lambda^{-0,8811}$	135	$S = 68022 \cdot \lambda^{-0,9004}$
40	$S = 3467,8 \cdot \lambda^{-0,8375}$	90	$S = 24865 \cdot \lambda^{-0,8836}$	140	$S = 74571 \cdot \lambda^{-0,9019}$
45	$S = 4620,9 \cdot \lambda^{-0,8461}$	95	$S = 28389 \cdot \lambda^{-0,886}$	145	$S = 81512 \cdot \lambda^{-0,9033}$
50	$S = 5967,9 \cdot \lambda^{-0,8531}$	100	$S = 32207 \cdot \lambda^{-0,8882}$	150	$S = 88858 \cdot \lambda^{-0,9046}$
55	$S = 7518,2 \cdot \lambda^{-0,8589}$	105	$S = 36326 \cdot \lambda^{-0,8902}$	155	$S = 96618 \cdot \lambda^{-0,9059}$
60	$S = 9281,1 \cdot \lambda^{-0,8639}$	110	$S = 40760 \cdot \lambda^{-0,8921}$	160	$S = 104806 \cdot \lambda^{-0,9072}$
65	$S = 11266 \cdot \lambda^{-0,8682}$	115	$S = 45519 \cdot \lambda^{-0,8939}$		



## РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД



**Рис. 5. Номограммы для определения процента тормозного веса пассажирского поезда в зависимости от величины расчетного коэффициента силы нажатия чугунных колодок**

## РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

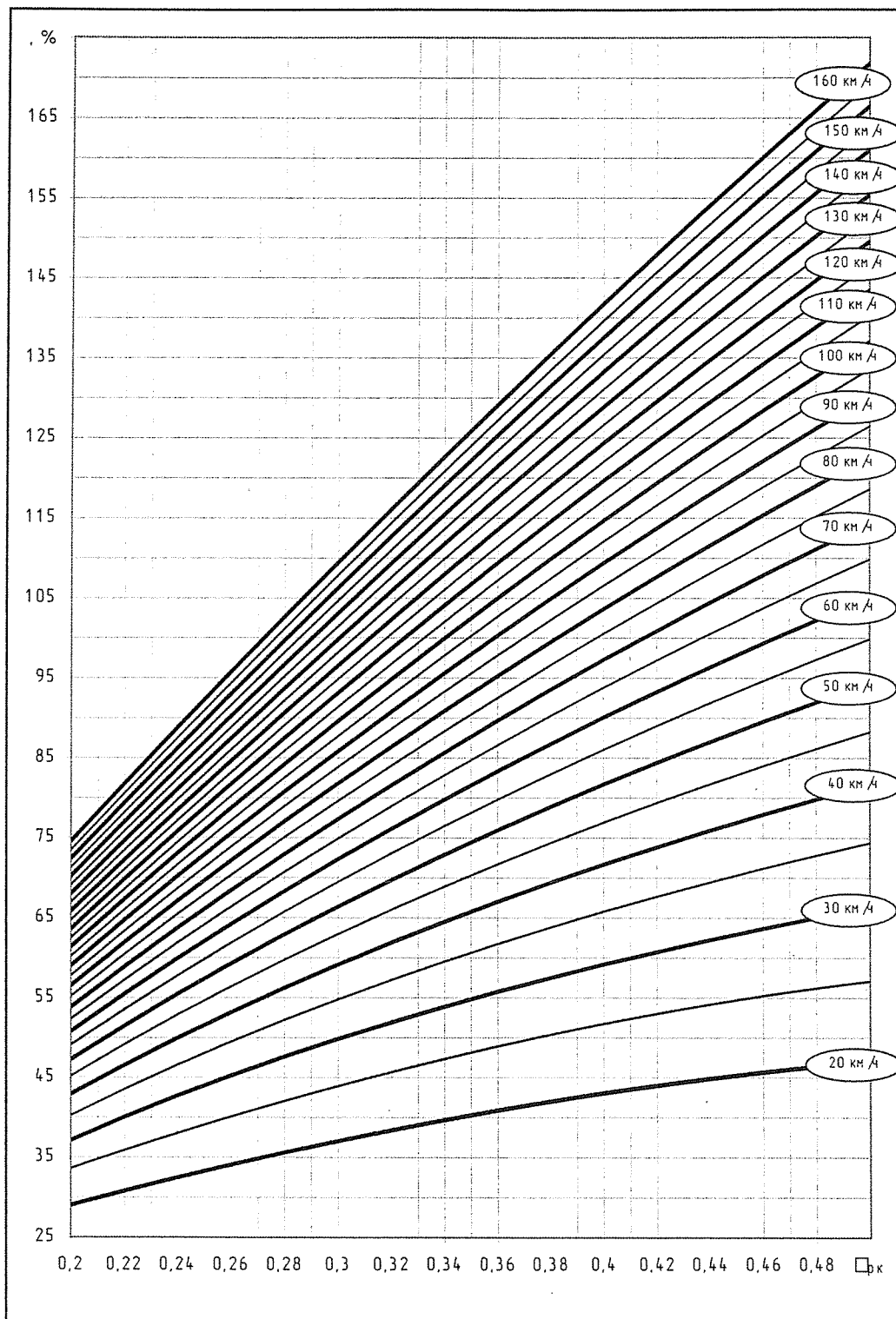
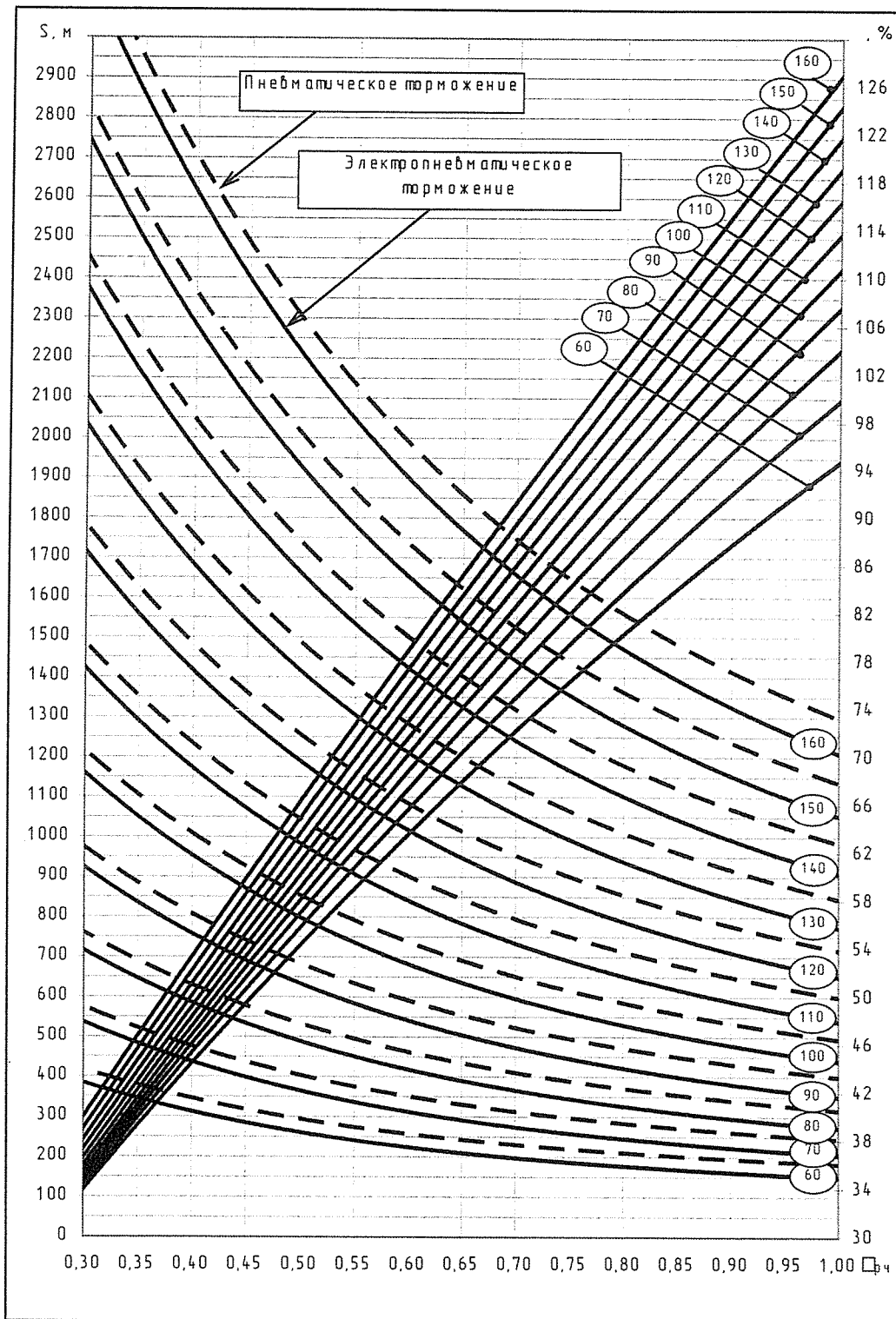


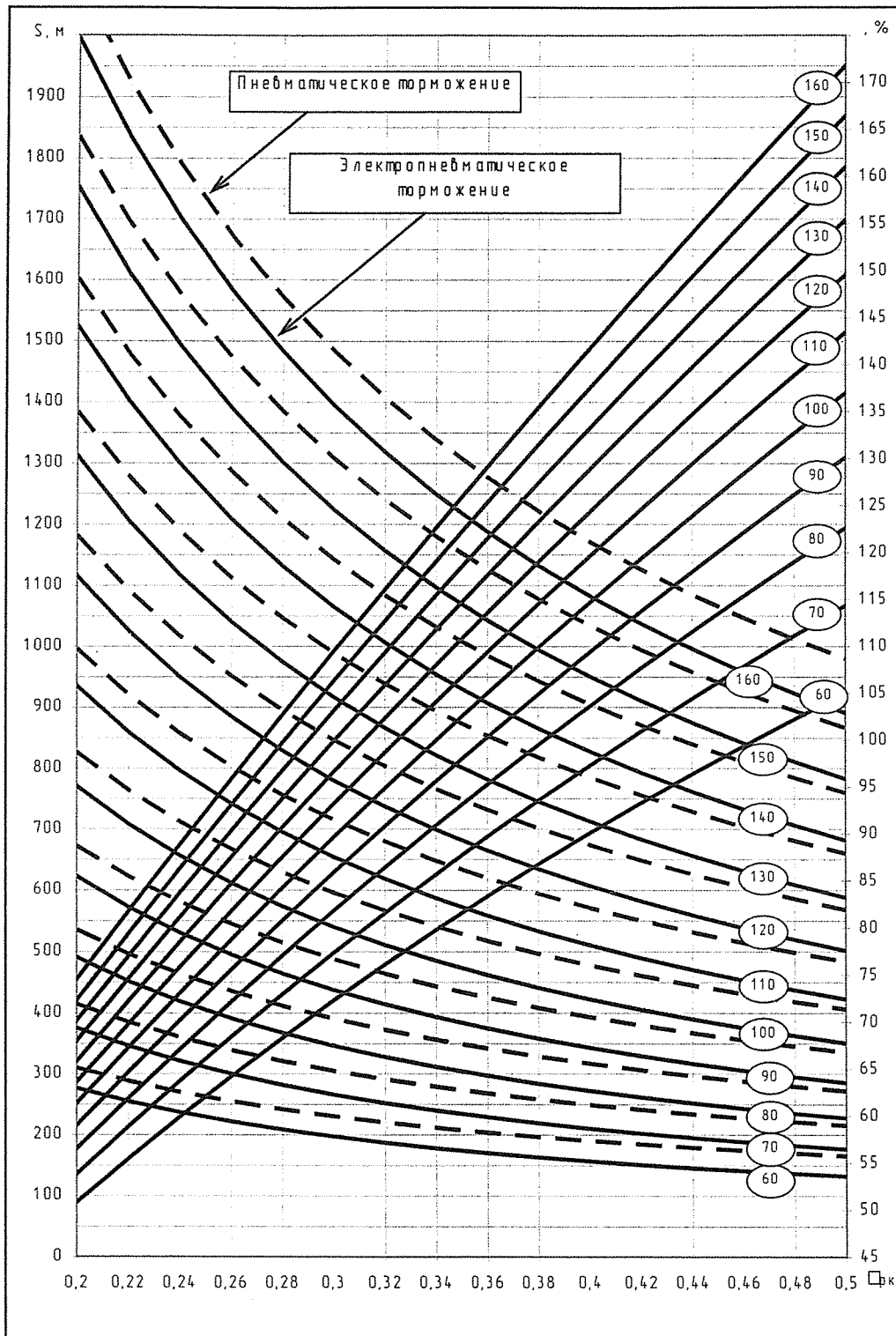
Рис. 6. Номограммы для определения процента тормозного веса пассажирского поезда в зависимости от величины расчетного коэффициента силы нажатия композиционных колодок

## РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД



**Рис. 7. Номограммы для определения тормозного пути и процента тормозного веса пассажирского поезда на чугунных колесках при экстренном торможении на площадке**

## РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД



**Рис 8. Номограммы для определения тормозного пути и процента тормозного веса пассажирского поезда на композиционных колесках при экстренном торможении на площадке**

## РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Производя аналогичные вычисления с применением формулы (26), найдем:

$$\begin{aligned} \lambda_1 &= \frac{0,00018 \cdot V^3 + 0,048 \cdot V^2}{1,094 \cdot S_T} - 0,11609 = \\ &= \frac{0,00018 \cdot 120^3 + 0,048 \cdot 120^2}{1,094 \cdot 970} - 0,11609 = 0,828 (82,8\%). \end{aligned}$$

В качестве второго примера определим процент тормозного веса пассажирского вагона с тарой 53 тс, оборудованного композиционными колодками, рассчитанного на скорость 140 км/ч, при этом тормозной путь составил 1020 м. Поступая аналогично, как и в предыдущем примере, получим ( $S=74571 \cdot \lambda^{-0,9019}$ )

$$\lambda = \left( \frac{1020}{74571} \right)^{-\frac{1}{0,9019}} = 116,6$$

Результаты расчета совпадают с примером, приведенным в [3], в котором была получена величина  $\lambda = 117\%$ .

Определение аналогичных показателей по номограммам показали совпадение с результатами расчета (рис. 9).

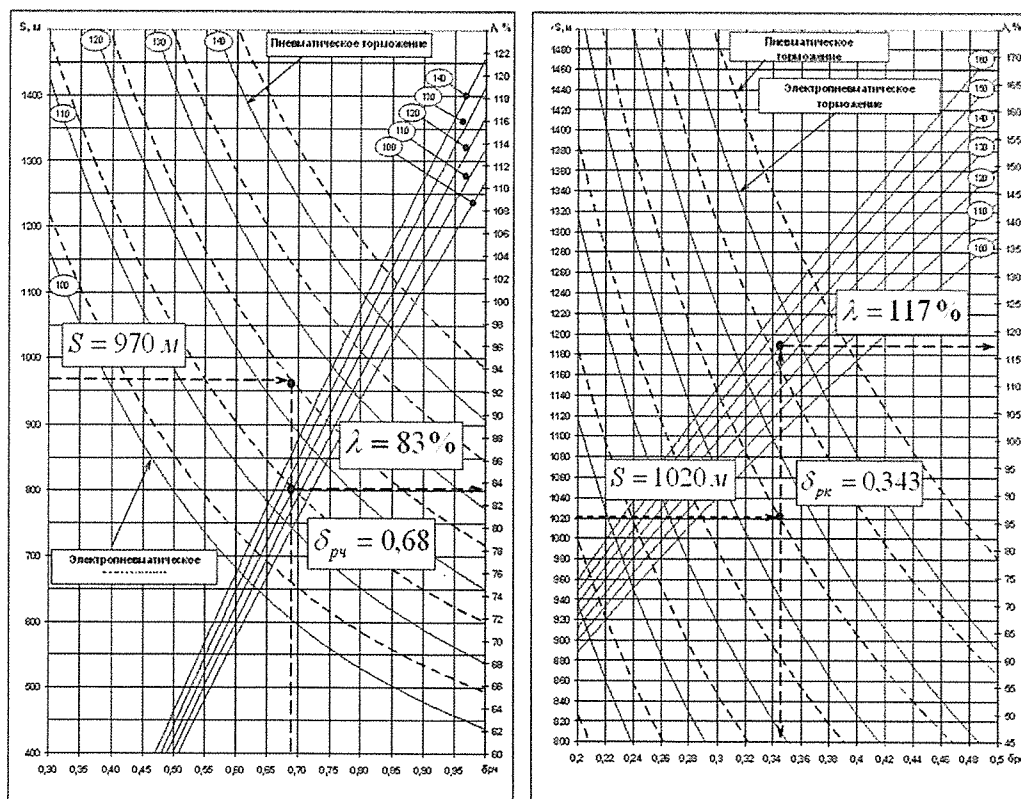


Рис. 9. Определение процента тормозного веса по номограммам:  
 а) чугунные колодки                      б) композиционные колодки

## РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

В отличие от колодочного тормоза, действительный коэффициент силы нажатия накладок на диски  $\delta_\delta$  определяется по действительной силе нажатия накладок, приведенной к поверхности катания колеса:

$$\delta_\delta = \frac{r_{mp}}{R_k} \cdot \frac{\sum_{i=1}^n K_{\delta i}}{Q+T} \quad (26)$$

где  $K_\delta$ - действительная сила нажатия накладки на диск;

$Q$ - полезная нагрузка;

$T$ - тара вагона;

$r_{mp}$  - радиус трения тормозного диска,  $r_{mp} = 233$  мм;

$R_k$ - расчетный радиус колеса по кругу катания, для новых колес  $R_k = 479$  мм.

Кроме того, коэффициент трения для дискового тормоза считается постоянной величиной и не зависит от скорости в начале торможения.

Поэтому целесообразно тормозную эффективность пассажирского вагона с дисковым тормозом определять по удельной тормозной силе [2]:

$$b = 1000 \cdot \varphi_{mp} \cdot \delta_\delta \quad (29)$$

где  $\varphi_{mp} = \text{const}$  – коэффициент трения.

Отсутствие нормативных значений для определения тормозной эффективности пассажирского поезда с дисковыми тормозами обуславливает необходимость оценивать тормозную эффективность по пассажирскому поезду с колодочным тормозом. Такая оценка производится по расчетному коэффициенту силы нажатия колодок пассажирского поезда с колодочными тормозами, эквивалентного по тормозному пути пассажирскому поезду с дисковыми тормозами. Формулы для пересчета представлены в таблицах 3 и 4, а номограммы – на рис. 10 и 11.

Определим удельную тормозную силу для скорости 160 км/ч, которая соответствует тормозным коэффициентам 0,28 и 0,8 соответственно при композиционных и чугунных колодках:

$$b(\delta_{pk} = 0,28) = \frac{0,28}{0,00389} = 72 \quad b(\delta_{pc} = 0,8) = \frac{0,8}{0,01102} = 72,6$$

Для коэффициента трения 0,35, действительный коэффициент силы нажатия  $\delta_\delta$  составит:

$$\delta_\delta = \frac{b}{1000 \cdot \varphi_{mp}} = \frac{72}{1000 \cdot 0,35} = 0,205$$

Аналитические выражения для определения процента тормозного веса пассажирского вагона с дисковым тормозом представлены в таблице 5, а номограммы – на рис. 12.

## РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

**Таблица 3. Пересчет удельной тормозной силы дискового тормоза на расчетный коэффициент силы нажатия композиционных колодок**

V, км/ч	Аналитическая зависимость	V, км/ч	Аналитическая зависимость	V, км/ч	Аналитическая зависимость
20	$\delta_{pk} = 0,00302 \cdot b$	70	$\delta_{pk} = 0,00345 \cdot b$	120	$\delta_{pk} = 0,00371 \cdot b$
25	$\delta_{pk} = 0,00306 \cdot b$	75	$\delta_{pk} = 0,00342 \cdot b$	125	$\delta_{pk} = 0,00373 \cdot b$
30	$\delta_{pk} = 0,00310 \cdot b$	80	$\delta_{pk} = 0,00349 \cdot b$	130	$\delta_{pk} = 0,00376 \cdot b$
35	$\delta_{pk} = 0,00315 \cdot b$	85	$\delta_{pk} = 0,00352 \cdot b$	135	$\delta_{pk} = 0,00378 \cdot b$
40	$\delta_{pk} = 0,00319 \cdot b$	90	$\delta_{pk} = 0,00355 \cdot b$	140	$\delta_{pk} = 0,00380 \cdot b$
45	$\delta_{pk} = 0,00323 \cdot b$	95	$\delta_{pk} = 0,00358 \cdot b$	145	$\delta_{pk} = 0,00382 \cdot b$
50	$\delta_{pk} = 0,00327 \cdot b$	100	$\delta_{pk} = 0,00361 \cdot b$	150	$\delta_{pk} = 0,00385 \cdot b$
55	$\delta_{pk} = 0,00331 \cdot b$	105	$\delta_{pk} = 0,00363 \cdot b$	155	$\delta_{pk} = 0,00387 \cdot b$
60	$\delta_{pk} = 0,00335 \cdot b$	110	$\delta_{pk} = 0,00366 \cdot b$	160	$\delta_{pk} = 0,00389 \cdot b$
65	$\delta_{pk} = 0,00339 \cdot b$	115	$\delta_{pk} = 0,00369 \cdot b$		

**Таблица 4. Пересчет удельной тормозной силы дискового тормоза на расчетный коэффициент силы нажатия чугуных колодок**

V, км/ч	Аналитическая зависимость	V, км/ч	Аналитическая зависимость	V, км/ч	Аналитическая зависимость
20	$\delta_{pc} = 0,00545 \cdot b$	70	$\delta_{pc} = 0,00827 \cdot b$	120	$\delta_{pc} = 0,01003 \cdot b$
25	$\delta_{pc} = 0,00579 \cdot b$	75	$\delta_{pc} = 0,00848 \cdot b$	125	$\delta_{pc} = 0,01017 \cdot b$
30	$\delta_{pc} = 0,00613 \cdot b$	80	$\delta_{pc} = 0,00868 \cdot b$	130	$\delta_{pc} = 0,01030 \cdot b$
35	$\delta_{pc} = 0,00645 \cdot b$	85	$\delta_{pc} = 0,00888 \cdot b$	135	$\delta_{pc} = 0,01043 \cdot b$
40	$\delta_{pc} = 0,00675 \cdot b$	90	$\delta_{pc} = 0,00906 \cdot b$	140	$\delta_{pc} = 0,01056 \cdot b$
45	$\delta_{pc} = 0,00704 \cdot b$	95	$\delta_{pc} = 0,00924 \cdot b$	145	$\delta_{pc} = 0,01068 \cdot b$
50	$\delta_{pc} = 0,00731 \cdot b$	100	$\delta_{pc} = 0,00941 \cdot b$	150	$\delta_{pc} = 0,01080 \cdot b$
55	$\delta_{pc} = 0,00757 \cdot b$	105	$\delta_{pc} = 0,00957 \cdot b$	155	$\delta_{pc} = 0,01091 \cdot b$
60	$\delta_{pc} = 0,00781 \cdot b$	110	$\delta_{pc} = 0,00973 \cdot b$	160	$\delta_{pc} = 0,01102 \cdot b$
65	$\delta_{pc} = 0,00805 \cdot b$	115	$\delta_{pc} = 0,00988 \cdot b$		

# РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

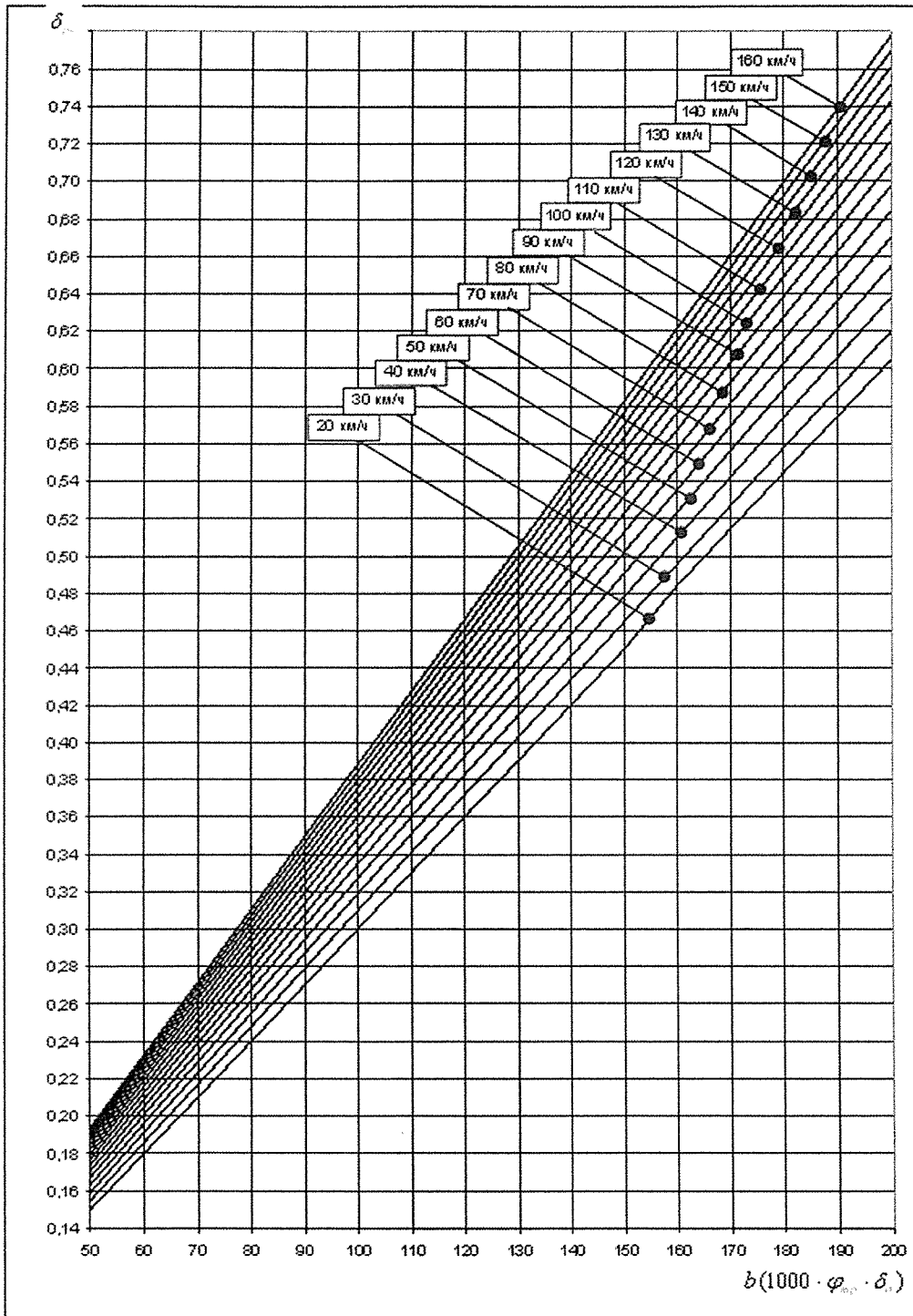


Рис. 10. Номограммы для пересчета удельной тормозной дискового тормоза на расчетные коэффициенты силы нажатия композиционных колодок



## РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

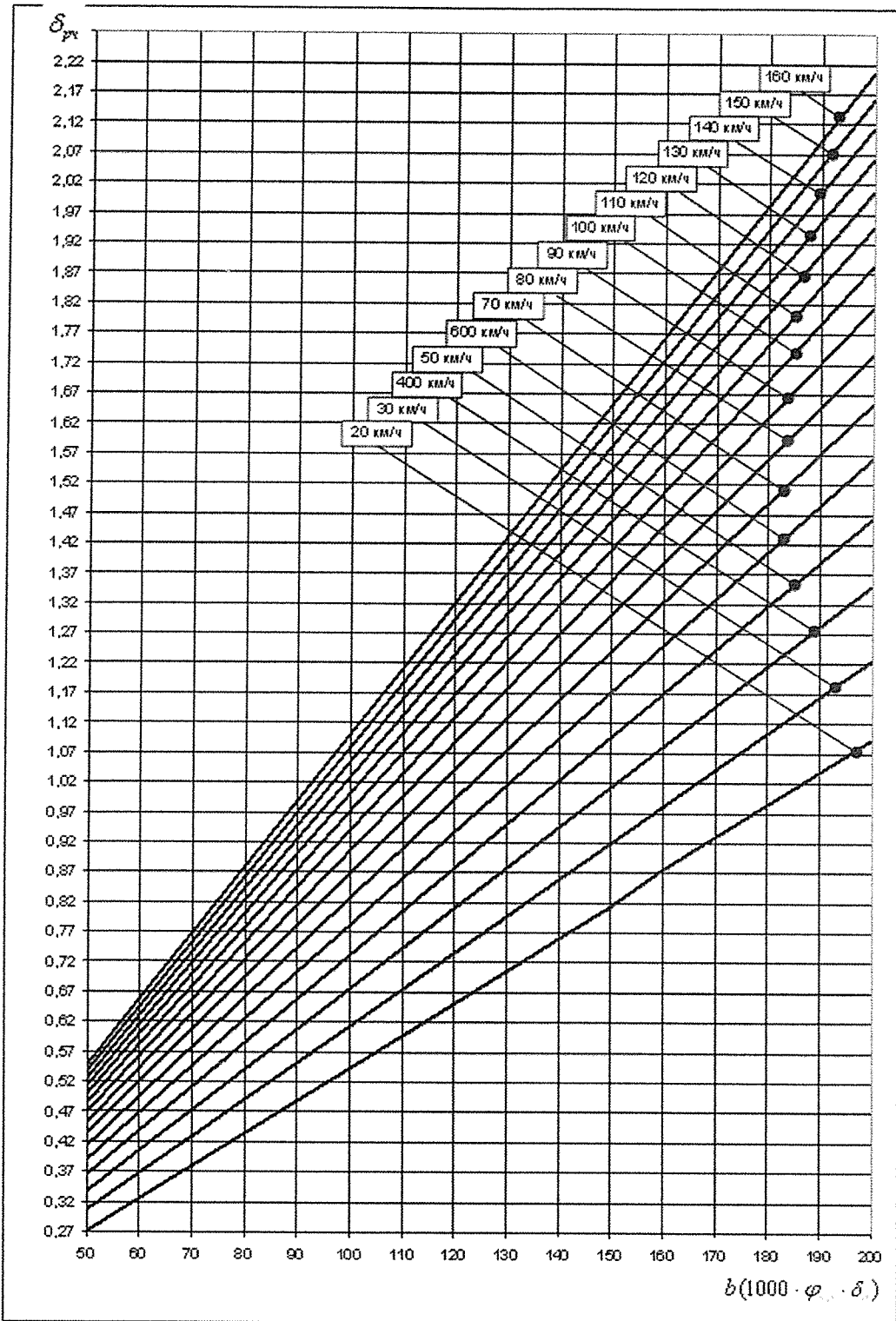


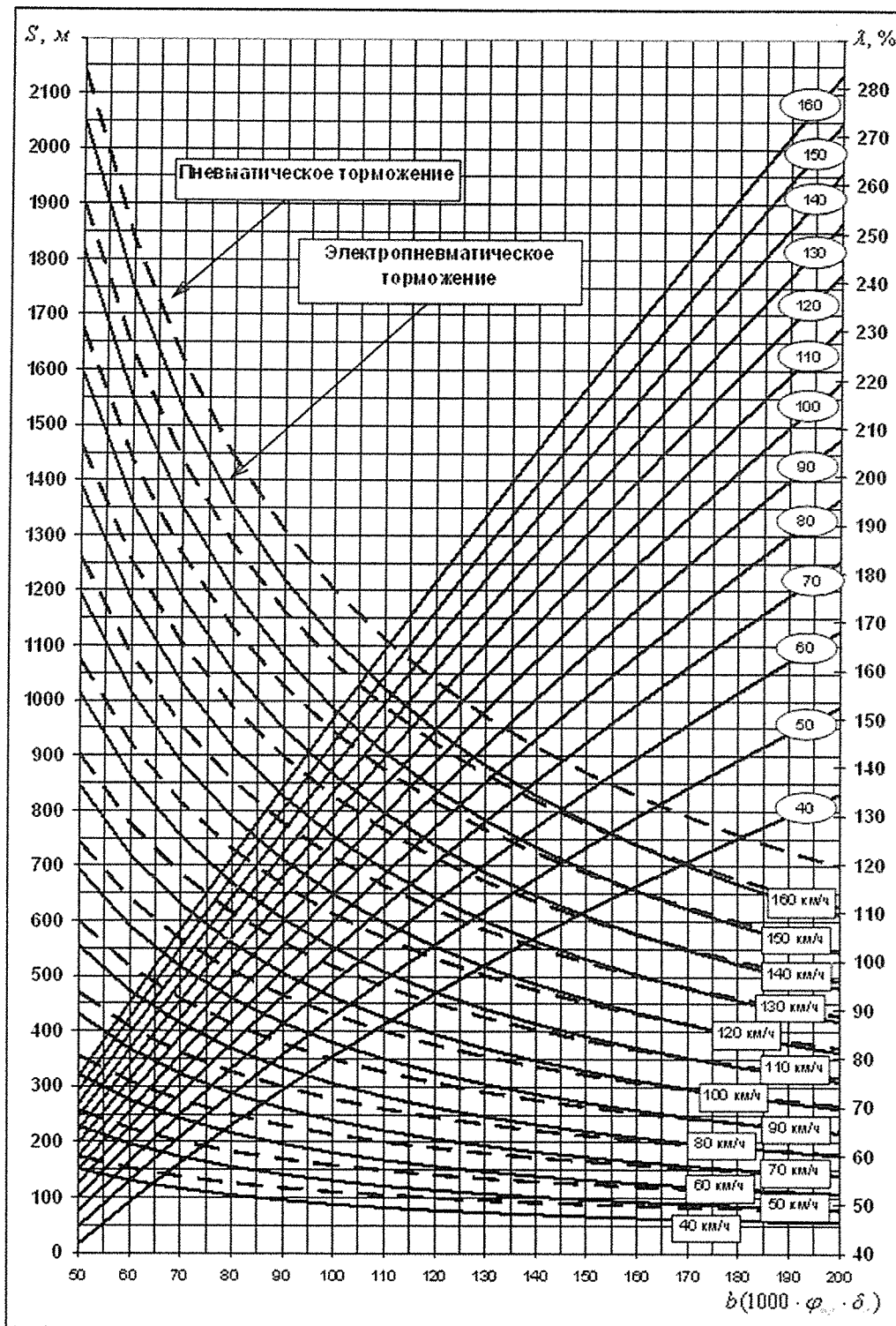
Рис. 11. Номограммы для пересчета удельной тормозной дискового тормоза на расчетные коэффициенты силы нажатия чугунных колодок

## РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

*Таблица 5. Определение процента тормозного веса пассажирского вагона с дисковым тормозом*

$V$ , км/ч	Аналитическое выражение
20	$\lambda = -0,00127 \cdot b^2 + 0,67023 \cdot b + 2,14411$
25	$\lambda = -0,00136 \cdot b^2 + 0,76277 \cdot b + 0,66382$
30	$\lambda = -0,00142 \cdot b^2 + 0,85108 \cdot b - 0,85974$
35	$\lambda = -0,00144 \cdot b^2 + 0,91624 \cdot b - 1,8871$
40	$\lambda = -0,00145 \cdot b^2 + 0,97248 \cdot b - 2,75669$
45	$\lambda = -0,00144 \cdot b^2 + 1,02136 \cdot b - 3,44441$
50	$\lambda = -0,00142 \cdot b^2 + 1,06449 \cdot b - 3,96743$
55	$\lambda = -0,00141 \cdot b^2 + 0,97248 \cdot b - 2,75669$
60	$\lambda = -0,00138 \cdot b^2 + 1,13971 \cdot b - 4,73580$
65	$\lambda = -0,00136 \cdot b^2 + 1,17310 \cdot b - 4,98799$
70	$\lambda = -0,00134 \cdot b^2 + 1,20436 \cdot b - 5,17698$
75	$\lambda = -0,00132 \cdot b^2 + 1,23385 \cdot b - 5,30464$
80	$\lambda = -0,00130 \cdot b^2 + 1,26188 \cdot b - 5,37950$
85	$\lambda = -0,00127 \cdot b^2 + 1,28872 \cdot b - 5,40872$
90	$\lambda = -0,00125 \cdot b^2 + 1,31503 \cdot b - 5,42021$
95	$\lambda = -0,00123 \cdot b^2 + 1,34005 \cdot b - 5,37562$
100	$\lambda = -0,00121 \cdot b^2 + 1,36454 \cdot b - 5,31051$
105	$\lambda = -0,00119 \cdot b^2 + 1,38835 \cdot b - 5,20980$
110	$\lambda = -0,00117 \cdot b^2 + 1,41175 \cdot b - 5,08782$
115	$\lambda = -0,00115 \cdot b^2 + 1,43499 \cdot b - 4,95779$
120	$\lambda = -0,00114 \cdot b^2 + 1,45800 \cdot b - 4,81086$
125	$\lambda = -0,00112 \cdot b^2 + 1,48104 \cdot b - 4,66035$
130	$\lambda = -0,00111 \cdot b^2 + 1,50432 \cdot b - 4,51880$
135	$\lambda = -0,00110 \cdot b^2 + 1,52650 \cdot b - 4,31688$
140	$\lambda = -0,00109 \cdot b^2 + 1,54848 \cdot b - 4,09748$
145	$\lambda = -0,00107 \cdot b^2 + 1,57027 \cdot b - 3,86373$
150	$\lambda = -0,00106 \cdot b^2 + 1,59190 \cdot b - 3,61134$
155	$\lambda = -0,00105 \cdot b^2 + 1,61334 \cdot b - 3,34258$
160	$\lambda = -0,00104 \cdot b^2 + 1,63468 \cdot b - 3,05837$

## РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД



**Рис. 12.** Номограммы для определения тормозного пути и процента тормозного веса в зависимости от величины удельной тормозной силы

## РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

---

Предложенный алгоритм определения тормозной эффективности пассажирских вагонов позволяет на стадии проектирования оценить тормозную эффективность как по единому тормозному нажатию композиционных колодок в пересчете на чугунные колодки, так и по проценту тормозного веса.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Гребенюк П., Долганов А., Скворцова А. Тяговые расчеты. М. «Транспорт», 1987 – 272 с.
2. В.Г. Иноземцев, П.Т.Гребенюк. Номы и методы расчета автотормозов. Из-во «Транспорт», Москва, 1971 – 57 с.
3. Гребенюк П. Правила тормозных расчетов. М. «Интекст», 2004 – 112 с.