

Федеральное агентство железнодорожного транспорта
Федеральное государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«ПЕТЕРБУРГСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ»

Кафедра «Локомотивы и локомотивное хозяйство»

БЕЗОПАСНОСТЬ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ И АВТОМАТИЧЕСКИЕ ТОРМОЗА ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Часть 2

Методические указания
к выполнению курсового проекта
для студентов специальностей «Локомотивы» и «Вагоны»

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

ПГУПС

2010

1. Определение единичного ускорения поезда

Для определения тормозного пути различными методами решается уравнение движения поезда при торможении, имеющее вид:

$$\frac{dv}{dt} = \xi \cdot (-b_T - w \mp i), \quad (1)$$

где $\frac{dv}{dt}$ — ускорение поезда, км/ч²;

ξ — «единичное» ускорение поезда (ускорение, получаемое поездом в км/ч² при действии удельной силы в 1 кгс/т).

Значение остальных параметров приведено в первой части методических указаний.

Единичное ускорение поезда определяется исходя из соотношения

$$\xi = \frac{127140}{1000 \cdot (1 + \gamma_{\text{поезда}})} = \frac{127,14}{1 + \gamma_{\text{поезда}}}, \quad (2)$$

где $\gamma_{\text{поезда}}$ — коэффициент, учитывающий инерционные свойства вращающихся масс поезда;

127140 — ускорение силы тяжести, выраженное в км/ч².

Коэффициент $\gamma_{\text{поезда}}$ определяется по эмпирической формуле

$$\gamma_{\text{поезда}} = \frac{25 \cdot \gamma_{\text{лок}} \cdot P + 21 \cdot Q \cdot \left(\frac{\alpha_2}{q_2} + \frac{2 \cdot \alpha_4}{q_4} + \frac{3 \cdot \alpha_6}{q_6} + \frac{4 \cdot \alpha_8}{q_8} \right)}{25 \cdot (P + Q)}, \quad (3)$$

где $\gamma_{\text{лок}}$ — коэффициент, учитывающий инерционные свойства вращающихся частей локомотива;

$\alpha_2, \alpha_4, \alpha_6, \alpha_8$ — доля двух-, четырех-, шести- и восьмиосных вагонов по весу состава соответственно;

q_2, q_4, q_6, q_8 — вес двух-, четырех-, шести- и восьмиосных вагонов соответственно.

Так как в задании к курсовому проекту поезд сформирован только из четырехосных вагонов, но с различной осевой нагрузкой, то коэффициент инерции вращающихся масс поезда следует рассчитывать по следующей формуле:

$$\gamma_{\text{поезда}} = \frac{25 \cdot \gamma_{\text{лок}} \cdot P + 21 \cdot Q \cdot \left(\frac{2 \cdot \alpha_1}{q_1} + \frac{2 \cdot \alpha_2}{q_2} + \frac{2 \cdot \alpha_3}{q_3} + \frac{2 \cdot \alpha_4}{q_4} + \frac{2 \cdot \alpha_5}{q_5} \right)}{25 \cdot (P + Q)}, \quad (4)$$

где $\alpha_1 - \alpha_5$ — доли вагонов 1-й — 5-й групп по весу состава; $q_1 - q_5$ — вес вагонов (брутто) 1-й — 5-й групп соответственно, т.

Величину коэффициента, учитывающего инерционные свойства локомотива, можно определить по табл. 1.

Таблица 1

Коэффициент, учитывающий инерционные свойства локомотивов различных серий в режиме холостого хода

Тип локомотива	ВМЭ1	ТГ102	ТГ106	ТГМ1	ТГМ3	ТГМ10	ТЭ1	ТЭ2	ТЭ3	ТЭ7
$\gamma_{\text{лок}}$	0,12	0,13	0,1	0,16	0,095	0,068	0,13	0,13	0,17	0,096
Тип локомотива	ТЭ10	ТЭП60	ТЭЛ	ТЭМ1	ТЭМ2	ЧМЭ2	ЧС2	ЧС3	ВЛ8	ВЛ10
$\gamma_{\text{лок}}$	0,17	0,14	0,18	0,13	0,13	0,14	0,17	0,1	0,2	0,19
Тип локомотива	ВЛ19	ВЛ22	ВЛ22м	ВЛ23	ВЛ60	ЧС1	Пас. тепл.	Груз. тепл.	Пас. электр.	Груз. электр.
$\gamma_{\text{лок}}$	0,24	0,28	0,28	0,2	0,19	0,11	0,09 — 0,11	0,13 — 0,21	0,08 — 0,16	0,2— 0,4

После определения единичного ускорения поезда можно перейти к решению тормозных задач.

2. Определение тормозного пути по интервалам скорости

При решении тормозных задач аналитическим способом по интервалам скорости полный тормозной путь S_T определяется как сумма двух составляющих:

$$S_T = S_{\Pi} + S_{\text{д}}, \quad (5)$$

где S_{Π} — подготовительный тормозной путь;

$S_{\text{д}}$ — действительный тормозной путь.

Разделение тормозного пути на подготовительный S_{Π} и действительный $S_{\text{д}}$ сделано условно. Диаграмма наполнения тормозных цилиндров в грузовом поезде при экстренном торможении приведена на рис. 1. Для упрощения тормозных расчетов в области неустановившегося режима действия тормозной силы при ее возрастании, действительные диаграммы наполнения тормозных цилиндров (линии 1–3) заменяются условной скачкообразной линией 0СДВ, принимаемой одинаковой для всех тормозных цилиндров. При этом предполагается, что во время прохождения поездом пути подготовки тормозов к действию – t_{Π} (линия 0–С), давление во всех тормозных цилиндрах поезда равно нулю, а скорость движения поезда не изменяется. После этого давление в тормозных цилиндрах возрастает скачком (линия С–Д) и далее остается постоянным.

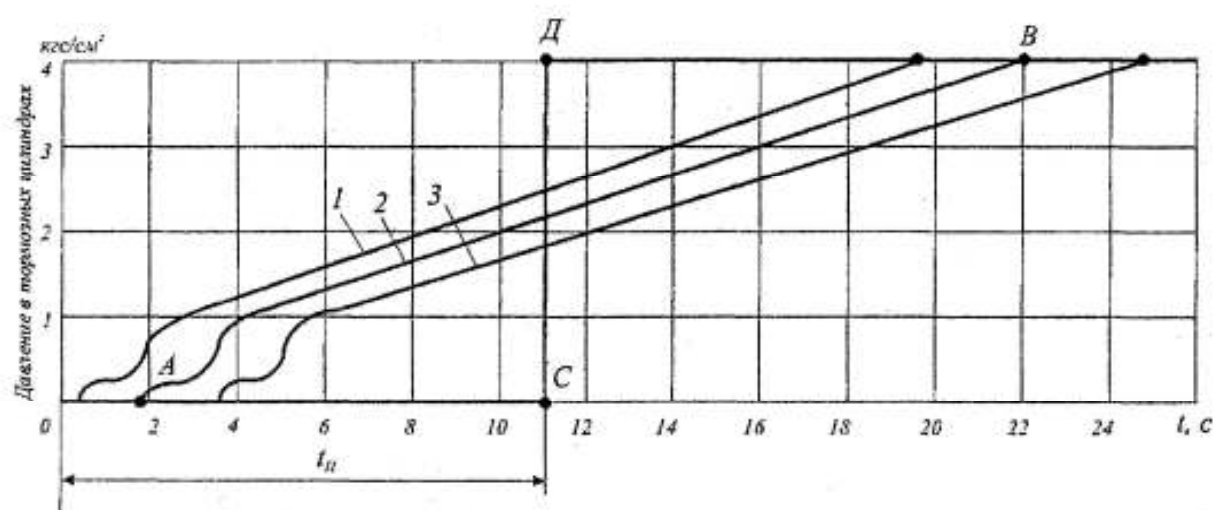


Рис. 1. Диаграмма наполнения тормозных цилиндров в грузовом поезде при экстренном торможении:
1, 2, 3 – диаграммы наполнения тормозных цилиндров головного, среднего и хвостового вагонов в составе

Время подготовки тормозов к действию зависит от длины поезда, типа тормозов, типа воздухораспределителя и режима его работы, так как от этого зависит характер и наклон диаграммы наполнения, а также от тормозной силы поезда и уклона, на котором происходит подготовка тормозов к действию, так как в расчетах во время подготовки тормозов к действию скорость движения принимается постоянной, а фактически она возрастает или убывает в зависимости от уклона и тормозной силы.

Время подготовки тормозов к действию в секундах определяется по формуле

$$t_{\Pi} = a - \frac{c \cdot i}{b_T}, \quad (6)$$

где a , c – коэффициенты, зависящие от типа поезда (грузовой или пассажирский), типа тормозов (пневматический или электропневматический) и числа осей;

b_T – тормозная сила поезда, кгс/т;

i – уклон, на котором находится поезд при подготовке тормозов к действию, в ‰ со своим знаком.

Нормативные значения коэффициентов a и c приведены в табл. 2.

Таблица 2

Нормативные значения коэффициентов a и c

Категория поезда	a	c
Грузовой поезд при пневматических тормозах и числе осей в поезде:		
до 200 осей включительно	7	10
более 200 и менее 300 осей	10	15
более 300 осей включительно	12	18
Пассажирский поезд при пневматических тормозах и одиночно следующий локомотив	4	5
Пассажирский поезд при электропневматических тормозах	2	3
При ручных тормозах	$t_{\Pi} = 60 \text{ с}$	

После определения времени подготовки тормозов к действию по формуле (6) определяем путь подготовки тормозов к действию:

$$S_{\Pi} = 0,278 \cdot v_n \cdot t_{\Pi}, \quad (7)$$

где v_n – скорость, с которой начинается торможение, км/ч. Время подготовки тормозов к действию подставляется в выражение (7) в секундах.

При определении действительного тормозного пути данным методом интервалы скорости принимают не более 5–10 км/ч. Расчет ведется по выражению:

$$\Delta S_d = \frac{500 \cdot (v_n^2 - v_k^2)}{\xi \cdot (b_T \mp i + w)}, \quad (8)$$

где v_n и v_k – начальная и конечная скорость на рассматриваемом интервале их изменения, км/ч; ΔS_d – тормозной путь, проходимый поездом за время снижения скорости от v_n до v_k , м. В случае движения поезда на подъеме величина уклона i прибавляется к удельной тормозной силе b_T (ставится знак «+»), а при движении поезда на спуске величина уклона вы-

читается из удельной тормозной силы (ставится знак «-»). Значение удельной тормозной силы b_T и удельного сопротивления движению поезда w вычисляют при средней скорости для рассматриваемого интервала:

$$v_{cp} = \frac{v_n + v_k}{2}. \quad (9)$$

Общий действительный тормозной путь S_d рассчитывается как сумма тормозных путей на всех рассмотренных интервалах скорости.

Время, затраченное поездом при прохождении рассматриваемого интервала скорости, рассчитывается по формуле

$$\Delta t = \frac{3,6 \cdot \Delta S}{v_{cp}}, \quad (10)$$

Общее время, затраченное поездом на торможение, рассчитывается как сумма времени по всем рассмотренным интервалам.

Расчет тормозного пути по интервалам скорости удобно выполнять в форме табл. 3, в качестве первой строки занеся подготовительный путь.

Таблица 3

Расчет тормозного пути по интервалам скорости

v_n	v_k	v_{cp}	$\varphi_{кр}^r$	b_T^r	$\varphi_{кр}^c$	b_T^c	b_T	w_o''	w_{ox}'	w	ΔS	$\sum \Delta S$	Δt	$\sum \Delta t$
км/ч	км/ч	км/ч	-	кгс/т	-	кгс/т	кгс/т	кгс/т	кгс/т	кгс/т	м	м	с	с

Здесь $\sum \Delta S$ – тормозной путь, пройденный с момента начала торможения до окончания данного интервала;

$\sum \Delta t$ – время, прошедшее с момента начала торможения до окончания изменения скорости в данном интервале.

По результатам расчета строится график зависимости $v = f(S)$ и $t = f(S)$.

Пример 1. Определим тормозной путь, проходимый грузовым поездом при начальной скорости 60 км/ч до полной остановки на спуске величиной $5,4^\circ/\infty$ если дано:

основное удельное сопротивление движению рассчитываемого состава, определяемое по формуле: $w_o'' = 0,889 + 0,00629 \cdot v + 0,0001572 \cdot v^2$;

расчетный тормозной коэффициент чугунных колодок в поезде
 $\vartheta_p^u = 0,242$;

расчетный тормозной коэффициент композиционных колодок в поезде
 $\vartheta_p^k = 0,054$;

вес состава $Q = 2100$ т;

вес локомотива $P = 120$ т;

число осей состава 124;

единичное ускорение поезда $\xi = 123,2$.

В начале расчета определим удельную тормозную силу при начальной скорости:

значения расчетных коэффициентов трения чугунных и композиционных колодок при скорости 60 км/ч равны

$$\varphi_{кр}^u = 0,27 \cdot \frac{v+100}{5 \cdot v+100} = 0,27 \cdot \frac{60+100}{5 \cdot 60+100} = 0,108;$$

$$\varphi_{кр}^k = 0,36 \cdot \frac{v+150}{2 \cdot v+150} = 0,36 \cdot \frac{60+150}{2 \cdot 60+150} = 0,28;$$

удельные тормозные силы, создаваемые чугунными и композиционными колодками, равны

$$b_T^u = 1000 \cdot \vartheta_p^u \cdot \varphi_{кр}^u = 1000 \cdot 0,242 \cdot 0,108 = 26,136 \text{ кгс/т};$$

$$b_T^k = 1000 \cdot \vartheta_p^k \cdot \varphi_{кр}^k = 1000 \cdot 0,054 \cdot 0,28 = 15,12 \text{ кгс/т};$$

общая (суммарная) удельная тормозная сила поезда равна

$$b_T = b_T^u + b_T^k = 26,136 + 15,12 = 41,48 \text{ кгс/т}.$$

После этого определим время подготовки тормозов к действию:

$$t_{\Pi} = a - \frac{c \cdot i}{b_T} = 7 - \frac{10 \cdot (-5,4)}{41,48} = 8,3 \text{ с}.$$

Путь подготовки тормозов к действию составит:

$$S_{\Pi} = 0,278 \cdot v_{\Pi} \cdot t_{\Pi} = 0,278 \cdot 60 \cdot 8,3 = 138,4 \text{ м}.$$

Результаты расчета внесем в первую строку таблицы. При этом общий тормозной путь от момента начала торможения до конца прохождения пути подготовки тормозов к действию будет равен пути подготовки и составит 138,4 м. Общее время, затраченное поездом от момента начала

торможения до конца прохождения пути подготовки, будет равно времени подготовки тормозов к действию и составит 8,3 с.

Теперь определим тормозной путь, проходимый поездом при снижении скорости на 10 км/ч в диапазоне от $v_n = 60$ км/ч до $v_k = 50$ км/ч.

Средняя скорость на рассматриваемом интервале составит:

$$v_{cp} = \frac{v_n + v_k}{2} = \frac{60 + 50}{2} = 55 \text{ км/ч.}$$

Значения расчетных коэффициентов трения чугунных и композиционных колодок при скорости 55 км/ч равны:

$$\varphi_{кр}^ч = 0,27 \cdot \frac{v + 100}{5 \cdot v + 100} = 0,27 \cdot \frac{55 + 100}{5 \cdot 55 + 100} = 0,1116;$$

$$\varphi_{кр}^к = 0,36 \cdot \frac{v + 150}{2 \cdot v + 150} = 0,36 \cdot \frac{55 + 150}{2 \cdot 55 + 150} = 0,284.$$

Удельные тормозные силы, создаваемые чугунными и композиционными колодками, равны

$$b_T^ч = 1000 \cdot g_p^ч \cdot \varphi_{кр}^ч = 1000 \cdot 0,242 \cdot 0,1116 = 27,01 \text{ кгс/т};$$

$$b_T^к = 1000 \cdot g_p^к \cdot \varphi_{кр}^к = 1000 \cdot 0,054 \cdot 0,284 = 15,34 \text{ кгс/т.}$$

Общая удельная тормозная сила поезда равна

$$b_T = b_T^ч + b_T^к = 27,01 + 15,34 = 42,35 \text{ кгс/т.}$$

Основное удельное сопротивление движению состава:

$$\begin{aligned} w_o'' &= 0,889 + 0,00629 \cdot v + 0,0001572 \cdot v^2 = \\ &= 0,889 + 0,00629 \cdot 55 + 0,0001572 \cdot 55^2 = 1,71 \text{ кгс/т.} \end{aligned}$$

Основное удельное сопротивление движению локомотива:

$$\begin{aligned} w_{ox}' &= 2,4 + 0,011 \cdot v + 0,00035 \cdot v^2 = 2,4 + 0,011 \cdot 55 + 0,00035 \cdot 55^2 = \\ &= 4,06 \text{ кгс/т.} \end{aligned}$$

Основное удельное сопротивление движению поезда равно

$$w = \frac{w_o'' \cdot Q + w_{ox}' \cdot P}{P + Q} = \frac{1,71 \cdot 2100 + 4,06 \cdot 120}{2100 + 120} = 1,84 \text{ кгс/т.}$$

Тормозной путь, проходимый в рассматриваемом интервале изменения скорости, равен:

$$\Delta S_d = \frac{500 \cdot (v_n^2 - v_k^2)}{\xi \cdot (b_T \mp i + w_o)} = \frac{500 \cdot (60^2 - 50^2)}{123,2 \cdot (42,35 - 5,4 + 1,84)} = 115,1 \text{ м.}$$

Тормозной путь, пройденный с момента начала торможения до окончания изменения скорости в данном интервале, равен:

$$\sum \Delta S = 138,4 + 115,1 = 253,3 \text{ м.}$$

Время, затраченное поездом на снижение скорости в данном интервале, равно:

$$\Delta t = \frac{3,6 \cdot \Delta S}{v_{cp}} = \frac{3,6 \cdot 115,1}{55} = 7,5 \text{ с.}$$

Время, прошедшее с момента начала торможения до окончания изменения скорости в данном интервале, равно

$$\sum t = 8,3 + 7,5 = 15,8 \text{ с.}$$

Аналогично заполняются остальные графы табл. 4. Необходимо иметь в виду, что при скоростях движения поезда 10 км/ч и менее основное удельное сопротивление движению следует принимать как при скорости 10 км/ч.

Таблица 4

Пример расчета тормозного пути по интервалам скорости

v_n	v_k	v_{cp}	$\phi_{кр}^n$	b_T^n	$\phi_{кр}^k$	b_T^k	b_T	w_o''	w_{ox}'	w	ΔS	$\sum \Delta S$	Δt	$\sum \Delta t$
км/ч	км/ч	км/ч	—	кгс/т	—	кгс/т	кгс/т	кгс/т	кгс/т	кгс/т	м	м	с	с
60	60	60	0,108	26,14	0,28	15,12	41,48	—	—	—	138,4	138,4	8,3	8,3
60	50	55	0,112	27,01	0,284	15,34	42,35	1,71	4,06	1,84	115,1	253,5	7,5	15,8
50	40	45	0,12	29,04	0,293	15,82	44,86	1,49	3,60	1,62	88,9	342,4	7,1	22,9
40	30	35	0,133	32,2	0,303	16,36	48,56	1,30	3,21	1,40	63,8	406,2	6,6	29,5
30	20	25	0,15	36,3	0,315	17,01	53,31	1,14	2,89	1,23	41,3	447,5	5,9	35,4
20	10	15	0,177	42,83	0,33	17,82	60,65	1,02	2,64	1,11	21,6	469,1	5,2	40,6
10	0	5	0,227	67,03	0,349	18,85	85,88	0,97	2,55	1,06	5,0	474,1	3,6	44,2

3. Учет длины и массы поезда при тормозных и тяговых расчетах

Одним из допущений, применяемом при решении уравнения движения поезда, является представление поезда в качестве материальной точки. При этом допущении считается, что вес поезда сосредоточен в его центре тяжести, а следовательно, для примера, приведенного на рис. 2, полное сопротивление движению поезда от уклона W_i будет равно:

$$W_i = (P + Q) \cdot i_3, \text{ кгс}, \quad (11)$$

где i_3 — значение величины уклона для третьего элемента профиля, ‰.

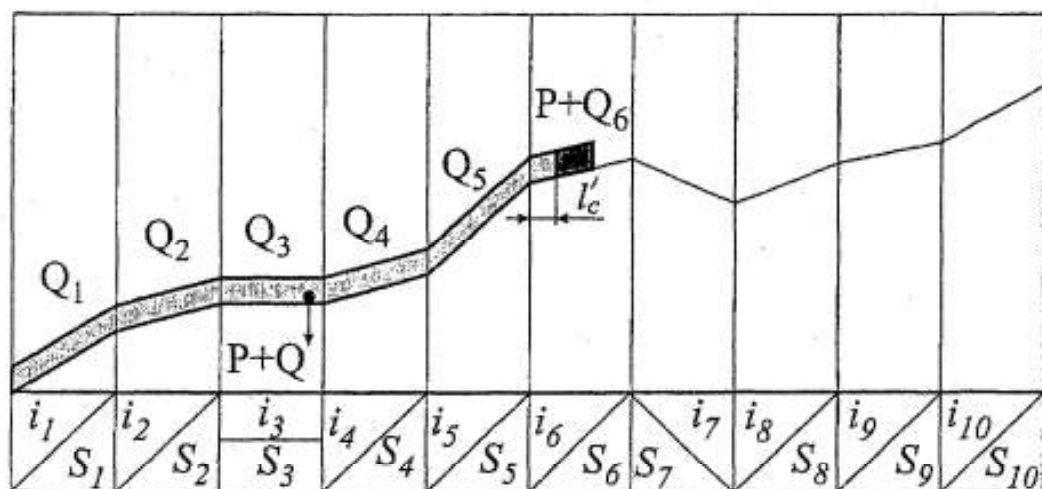


Рис. 2. Схема расположения поезда на реальном профиле пути в первом положении:

$i_1 - i_{10}$ — значение величин уклонов с 1-го по 10-й элемент профиля;

$S_1 - S_{10}$ — длина с 1-го по 10-й элемент профиля;

$Q_1 - Q_6$ — вес части состава, расположенной на элементах профиля с 1-го по 6-й

В действительности, как видно из рис. 2, на рассматриваемый поезд действуют сопротивления от уклонов сразу шести элементов. Величину сопротивления от уклонов, действующего на данный поезд, можно найти по формуле

$$W_i = (P + Q_6) \cdot i_6 + Q_5 \cdot i_5 + Q_4 \cdot i_4 + Q_3 \cdot i_3 + Q_2 \cdot i_2 + Q_1 \cdot i_1. \quad (12)$$

Очевидно, что результаты расчета по зависимостям (11) и (12) могут значительно отличаться, следовательно, выполнение тяговых и тормозных расчетов без учета этого факта может привести к существенной погрешности.

Удельное сопротивление движению поезда от уклона в момент времени, показанный на рис. 2, может быть определено по формуле

$$w_i = \frac{(P+Q_6)}{P+Q} \cdot i_6 + \frac{Q_5}{P+Q} \cdot i_5 + \frac{Q_4}{P+Q} \cdot i_4 + \frac{Q_3}{P+Q} \cdot i_3 + \frac{Q_2}{P+Q} \cdot i_2 + \frac{Q_1}{P+Q} \cdot i_1, \text{ кгс/т.} \quad (13)$$

При этом необходимо подставлять величину уклонов с учетом их знака («+» для подъема и «-» для спуска). Так как схема формирования поезда неизвестна, то можно считать, что вес состава равномерно распределен по его длине, то есть на каждый погонный метр длины состава приходится один и тот же вес. Кроме того, в большинстве случаев подробный попикетный профиль составлен из элементов длиной 100 м.

С учетом принятых допущений получим:

$$S_1 = S_2 = \dots = S_6 = \dots = S_{10} = 100 \text{ м;}$$

$$Q_1 = Q_2 = Q_3 = Q_4 = Q_5 = Q \cdot \frac{100}{l_{\text{сост}}} \text{ т;}$$

$$Q_6 = Q \cdot \frac{l'_{\text{сост}}}{l_{\text{сост}}},$$

где $l_{\text{сост}}$ — длина состава, м;

$l'_{\text{сост}}$ — длина части состава, расположенной на 6-м элементе профиля, м.

Уравнение (13) можно значительно упростить, приведя его к следующему виду:

$$w_i = A \cdot i_6 + B \cdot (i_5 + i_4 + i_3 + i_2 + i_1), \text{ кгс/т,} \quad (14)$$

$$\text{где } A = \frac{P + \frac{l'_{\text{сост}}}{l_{\text{сост}}} \cdot Q}{P + Q}; \quad B = \frac{\frac{100}{l_{\text{сост}}} \cdot Q}{P + Q} \text{ — безразмерные коэффициенты.} \quad (15)$$

Метод учета длины и массы поезда основан на замене реального профиля пути расчетным при условии, что мгновенное значение уклона принимается равным удельному сопротивлению от уклона, действующему на реальный поезд, обладающий длиной и распределенной массой, то есть $i_{\text{мг}} = w_i$.

Таким образом, мгновенное значение уклона для поезда, находящегося в положении, показанном на рис. 2, равно

$$i_{\text{мг1}} = A \cdot i_6 + B \cdot (i_5 + i_4 + i_3 + i_2 + i_1). \quad (16)$$

При перемещении поезда на 100 м (рис. 3) мгновенное значение сопротивления от уклона равно

$$i_{\text{мг2}} = A \cdot i_7 + B \cdot (i_6 + i_5 + i_4 + i_3 + i_2). \quad (17)$$

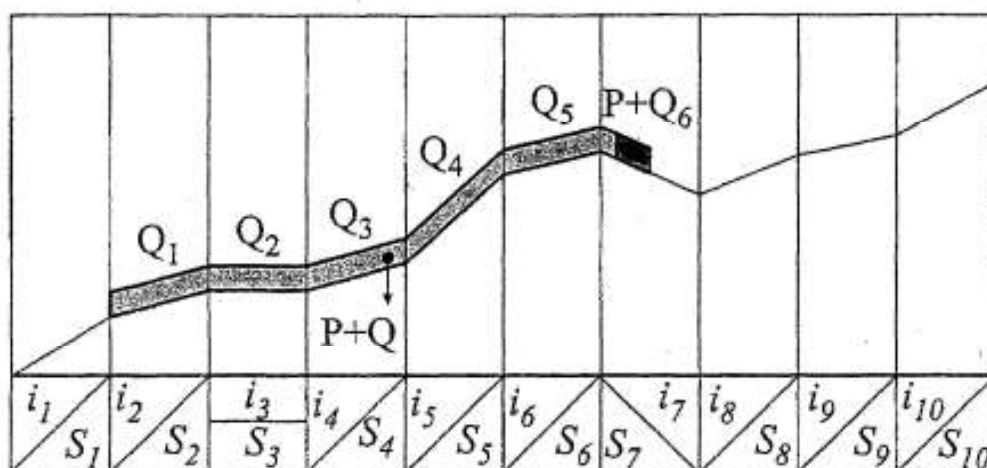


Рис. 3. Схема расположения поезда во втором положении (прошедшего 100 м)

Таким образом, пока поезд проходит 100 м, сопротивление движению от уклона меняется от $i_{\text{мг1}}$ до $i_{\text{мг2}}$. Среднее значение сопротивления от уклона, действующее на поезд при перемещении поезда из первого положения во второе (при прохождении им 100 м), будет равно

$$i_{\text{ср1}} = \frac{i_{\text{мг1}} + i_{\text{мг2}}}{2}. \quad (18)$$

При прохождении поездом еще 100 м мгновенное значение сопротивления от уклона будет равно

$$i_{\text{мг3}} = A \cdot i_8 + B \cdot (i_7 + i_6 + i_5 + i_4 + i_3). \quad (19)$$

Среднее значение от уклона на вторых 100 м будет равно

$$i_{\text{ср2}} = \frac{i_{\text{мг2}} + i_{\text{мг3}}}{2}. \quad (20)$$

Таким образом рассчитывается весь профиль, на котором выполняются тяговые или тормозные расчеты. Число элементов профиля, учитываемых в выражениях (16), (17) и (19), зависит от длины поезда.

При выполнении расчетов рекомендуется «привязывать» конец поезда к концу элемента профиля. Возможны варианты расположения поезда, несколько отличающиеся от рассмотренного ранее случая (рис. 4).

В случае, показанном на рис. 4, а изменится значение коэффициента A , которое станет равным

$$A = \frac{P}{P+Q}. \quad (21)$$

При расположении поезда, показанном на рис. 4, б, рекомендуется несколько увеличить или уменьшить длину состава в ближайшую сторону и принять схему расположения, показанную на рис. 2 или рис. 4, а.

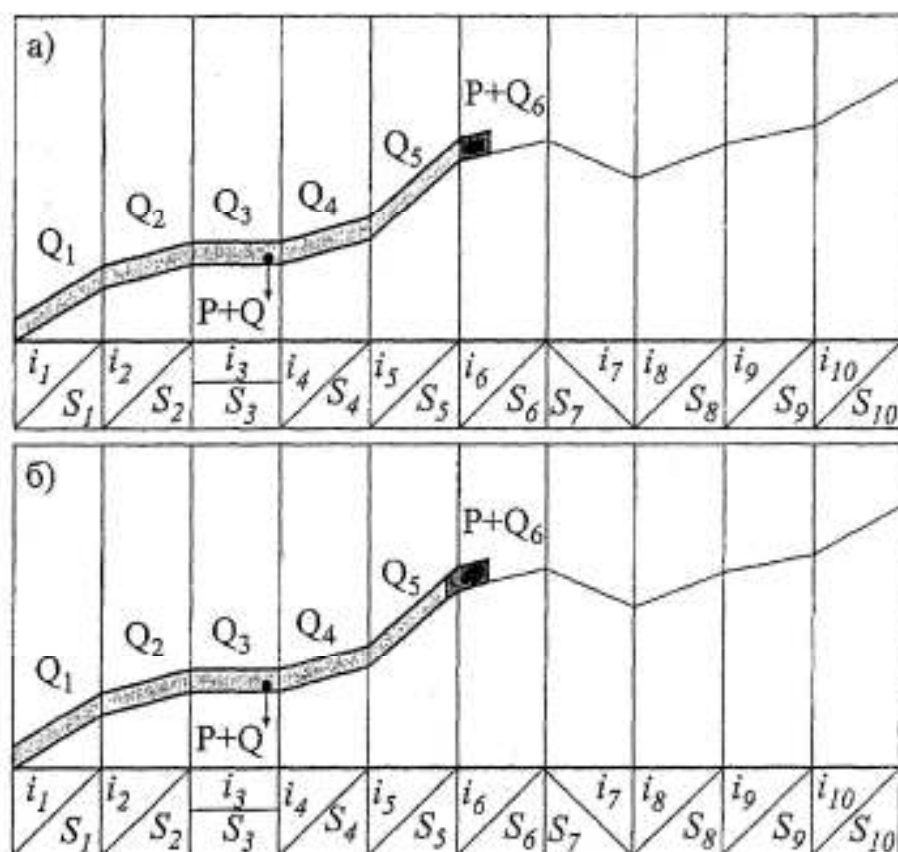


Рис. 4. Варианты расположения поезда на элементах профиля

Пример 2. Рассчитаем тяговый профиль для поезда, имеющего состав длиной 490 м и весом 3200 т, и локомотив длиной 36 м и весом 276 т. Исходный профиль приведен на рис. 5, а.

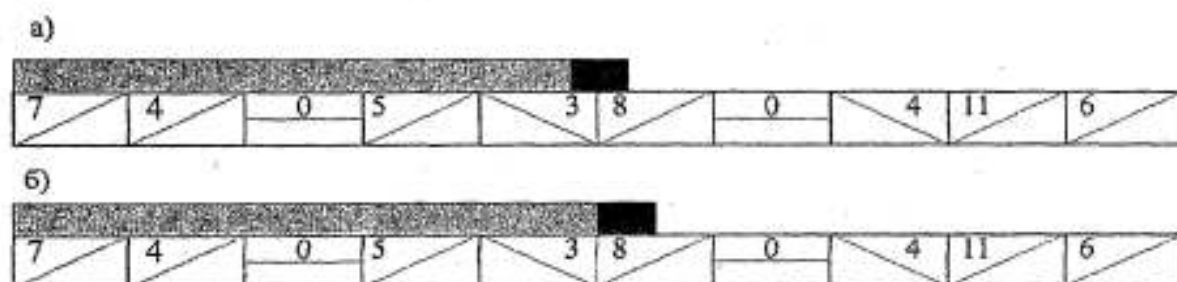


Рис. 5. Подробный покикетный профиль

В данной схеме получается, что локомотив расположен одновременно на двух элементах профиля. Для упрощения расчетов увеличим длину состава на 10 м и приведем поясняющий рис. 5, б к рис. 5, а. После этого определим коэффициенты А и В:

$$A = \frac{P}{P+Q} = \frac{276}{276+3200} = 0,079;$$

$$B = \frac{\frac{100}{l_{\text{сост}}} \cdot Q}{P+Q} = \frac{\frac{100}{500} \cdot 3200}{276+3200} = 0,184.$$

Так как поезд располагается на шести элементах профиля, то мгновенные значения уклонов могут быть определены по формулам:

$$i_{\text{мг1}} = A \cdot i_6 + B \cdot (i_5 + i_4 + i_3 + i_2 + i_1) = 0,079 \cdot (8) + 0,184 \cdot (-3 + 5 + 0 + 4 + 7) = 3,02 \text{ ‰};$$

$$i_{\text{мг2}} = A \cdot i_7 + B \cdot (i_6 + i_5 + i_4 + i_3 + i_2) = 0,079 \cdot (0) + 0,184 \cdot (8 - 3 + 5 + 0 + 4) = 2,58 \text{ ‰};$$

$$i_{\text{мг3}} = A \cdot i_8 + B \cdot (i_7 + i_6 + i_5 + i_4 + i_3) = 0,079 \cdot (-4) + 0,184 \cdot (0 + 8 - 3 + 5 + 0) = 1,52 \text{ ‰};$$

$$i_{\text{мг4}} = A \cdot i_9 + B \cdot (i_8 + i_7 + i_6 + i_5 + i_4) = 0,079 \cdot (11) + 0,184 \cdot (-4 + 0 + 8 - 3 + 5) = 1,97 \text{ ‰};$$

$$i_{\text{мг5}} = A \cdot i_{10} + B \cdot (i_9 + i_8 + i_7 + i_6 + i_5) = 0,079 \cdot (6) + 0,184 \cdot (11 - 4 + 0 + 8 - 3) = 2,68 \text{ ‰}.$$

Средние (расчетные) значения действующих на поезд уклонов будут равны:

$$i_{\text{ср1}} = \frac{i_{\text{мг1}} + i_{\text{мг2}}}{2} = \frac{3,02 + 2,58}{2} = 2,80 \text{ ‰};$$

$$i_{\text{ср2}} = \frac{i_{\text{мг2}} + i_{\text{мг3}}}{2} = \frac{2,58 + 1,52}{2} = 2,05 \text{ ‰};$$

$$i_{\text{ср3}} = \frac{i_{\text{мг3}} + i_{\text{мг4}}}{2} = \frac{1,52 + 1,97}{2} = 1,75 \text{ ‰};$$

$$i_{\text{ср4}} = \frac{i_{\text{мг4}} + i_{\text{мг5}}}{2} = \frac{1,97 + 2,68}{2} = 2,33 \text{ ‰}.$$

4. Определение тормозного пути по интервалам времени

При решении задачи данным методом реальные диаграммы наполнения тормозных цилиндров различных вагонов поезда заменяются одной эквивалентной (усредненной) диаграммой (рис. 6). При этом принимается, что тормозные цилиндры всех вагонов поезда будут наполняться по данной диаграмме.

Характер данной диаграммы наполнения тормозных цилиндров поезда зависит от длины поезда, типа тормозов, типа воздухораспределителя, режима его работы и режима торможения (полное служебное, ступенчатое, экстренное). Данные диаграммы приводятся, как правило, в виде таблиц. В табл. 5 приведены диаграммы наполнения тормозных цилиндров одиночного локомотива и грузового поезда различной длины при экстренном торможении. В таблице показан характер изменения во времени расчетного тормозного коэффициента по отношению к его полному значению (при 100%-ном наполнении тормозных цилиндров) в процентах.

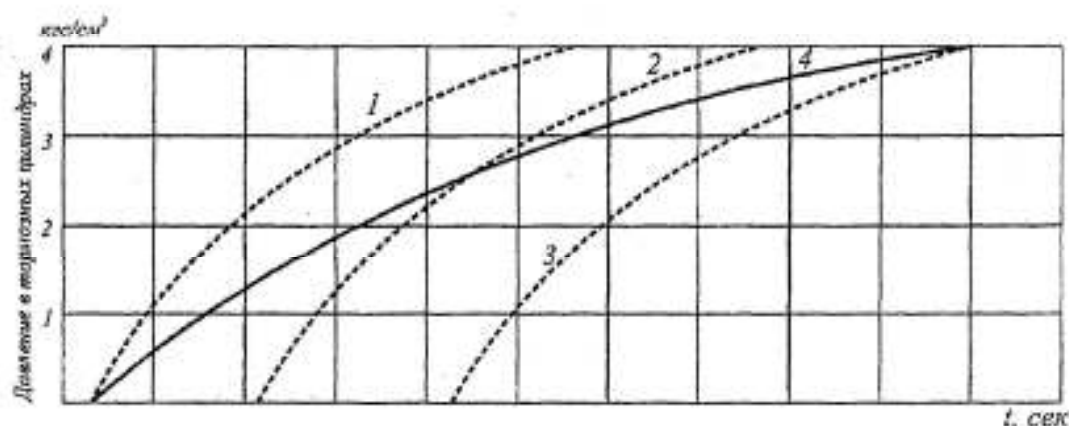


Рис. 6. Диаграмма наполнения тормозных цилиндров в грузовом поезде при экстренном торможении;

- 1, 2, 3 - диаграммы наполнения тормозных цилиндров головного, среднего в составе и хвостового вагонов соответственно;
4 - усредненная диаграмма наполнения тормозных цилиндров поезда

Таблица 5

Диаграмма наполнения тормозных цилиндров при экстренном торможении

Интервал времени, с	Расчетный коэффициент нажатия (в среднем по поезду), %				
	Одиночный локомотив	Длина состава грузового поезда, м			
		500	800	1200	1600
1	2	3	4	5	6
0-3	15	0	0	0	0
3-6	62	20	15	2	0

1	2	3	4	5	6
6-9	87	45	35	20	10
9-12	97	65	50	35	25
12-15	100	80	65	50	35
15-18	100	90	75	60	45
18-21	100	95	85	70	55
21-24	100	98	95	80	62
24-27	100	100	98	85	70
27-30	100	100	100	90	75
30-33	100	100	100	94	80
33-36	100	100	100	96	85
36-39	100	100	100	98	90
39-42	100	100	100	100	92
42-45	100	100	100	100	95
45-50	100	100	100	100	98
50-55	100	100	100	100	100

Как правило, реальная длина состава отличается от длины, приведенной в табл. 5. Для определения характера наполнения тормозных цилиндров необходимо воспользоваться линейной интерполяцией. Для этого требуется определить, как соотносится длина реального состава к длинам составов, приведенным в табл. 5. Возможные расчетные формулы приведены в табл. 6.

Таблица 6

Формулы для расчета диаграммы наполнения тормозных цилиндров поезда определенной длины

Длина поезда, м	Расчетная формула
Менее 500	$\vartheta_{\text{р сост}}^{\%} = \vartheta_{\text{р500}}^{\%} + \frac{\vartheta_{\text{р0}}^{\%} - \vartheta_{\text{р500}}^{\%}}{500 - 0} \cdot (500 - l_{\text{сост}})$
От 500 до 800	$\vartheta_{\text{р сост}}^{\%} = \vartheta_{\text{р800}}^{\%} + \frac{\vartheta_{\text{р500}}^{\%} - \vartheta_{\text{р800}}^{\%}}{800 - 500} \cdot (800 - l_{\text{сост}})$
От 800 до 1200	$\vartheta_{\text{р сост}}^{\%} = \vartheta_{\text{р1200}}^{\%} + \frac{\vartheta_{\text{р800}}^{\%} - \vartheta_{\text{р1200}}^{\%}}{1200 - 800} \cdot (1200 - l_{\text{сост}})$
От 1200 до 1600	$\vartheta_{\text{р сост}}^{\%} = \vartheta_{\text{р1600}}^{\%} + \frac{\vartheta_{\text{р1200}}^{\%} - \vartheta_{\text{р1600}}^{\%}}{1600 - 1200} \cdot (1600 - l_{\text{сост}})$

В табл. 6: $\vartheta_{\text{р сост}}^{\%}$ — процент наполнения тормозных цилиндров рассматриваемого состава;

$\vartheta_{p0}^{\%}, \vartheta_{p500}^{\%}, \vartheta_{p800}^{\%}, \vartheta_{p1200}^{\%}, \vartheta_{p1600}^{\%}$ – процент наполнения тормозных цилиндров одиночного локомотива и грузового поезда при длине состава 500, 800, 1200 и 1600 м соответственно.

Результаты расчета удобно представить в виде табл. 7.

Таблица 7

Расчет диаграммы наполнения тормозных цилиндров поезда

Интервал времени, с	$\vartheta_{p1}^{\%}$	$\vartheta_{p2}^{\%}$	$\vartheta_{p\text{ сост}}^{\%}$

В табл. 7 $\vartheta_{p1}^{\%}$ и $\vartheta_{p2}^{\%}$ – процент наполнения тормозных цилиндров составов, используемых в расчете.

Пример 3. Рассчитаем диаграмму наполнения тормозных цилиндров поезда с длиной состава 950 м при экстренном торможении.

Для интервала времени 0–3 с процент наполнения тормозных цилиндров будет равен

$$\begin{aligned}\vartheta_{p\text{ сост}}^{\%} &= \vartheta_{p1200}^{\%} + \frac{\vartheta_{p800}^{\%} - \vartheta_{p1200}^{\%}}{1200 - 800} \cdot (1200 - l_{\text{сост}}) = \\ &= 0 + \frac{0 - 0}{1200 - 800} \cdot (1200 - 950) = 0\%.\end{aligned}$$

Для интервала времени 3–6 с процент наполнения тормозных цилиндров будет равен

$$\begin{aligned}\vartheta_{p\text{ сост}}^{\%} &= \vartheta_{p1200}^{\%} + \frac{\vartheta_{p800}^{\%} - \vartheta_{p1200}^{\%}}{1200 - 800} \cdot (1200 - l_{\text{сост}}) = 2 + \frac{15 - 2}{1200 - 800} \cdot (1200 - 950) = \\ &= 10,1\%.\end{aligned}$$

Дальнейший расчет удобно представить в виде табл. 8.

Таблица 8

Расчет диаграммы наполнения тормозных цилиндров

Интервал времени, с	$\vartheta_{p800}^{\%}$	$\vartheta_{p1200}^{\%}$	$\vartheta_{p950}^{\%}$
1	2	3	4
0–3	0	0	0
3–6	15	2	10,1
6–9	35	20	29,4

Продолжение табл. 8

1	2	3	4
9-12	50	35	44,4
12-15	65	50	59,4
15-18	75	60	69,4
18-21	85	70	79,4
21-24	95	80	89,4
24-27	98	85	92,2
27-30	100	90	96,3
30-33	100	94	97,8
33-36	100	96	98,5
36-39	100	98	99,3
39-42	100	100	100

Для пассажирского поезда диаграмма наполнения тормозных цилиндров при экстренном торможении выбирается исходя из числа вагонов поезда по табл. 9.

Таблица 9

Повышение расчетного тормозного коэффициента пассажирского поезда в процессе наполнения тормозных цилиндров при экстренном и полном служебном торможении

Интервал времени	Расчетный коэффициент нажатия $\vartheta_{\text{расч}}^{\%}$, в % зависимости от числа вагонов в поезде		
	До 18	19-25	Свыше 25
0-3	2	0	0
3-6	65	35	20
6-9	90	60	50
9-12	95	80	70
12-15	100	95	85
15-18	100	100	95
18-21	100	100	100

Принятая по табл. 9 диаграмма не требует пересчетов и уточнений.

При решении тормозной задачи по интервалам времени величину изменения скорости движения за рассматриваемый интервал времени определяют по следующей формуле:

$$\Delta v = - \frac{\xi \cdot (b_T + w \mp i_{cp})}{3600} \cdot \Delta t, \quad (22)$$

где Δv – изменение скорости, км/ч;

Δt – величина интервала времени, с.

В выражение подставляется среднее значение уклона, вычисленное в рассчитываемом интервале времени с учетом длины и массы поезда.

При использовании данной формулы возникает некоторое затруднение, так как входящие в выражение удельная тормозная сила поезда b_T и удельное сопротивление движению поезда в режиме холостого хода локомотива w зависят от средней скорости движения поезда в рассматриваемом интервале времени. Средняя скорость движения, в свою очередь, зависит от величины Δv . Поэтому для решения тормозной задачи данным способом используется метод последовательного приближения, заключающийся в том, что вначале задаются значением средней скорости на рассматриваемом интервале, производят вычисления и сравнивают заданное и рассчитанное значения средней скорости. Точность расчетов считается удовлетворительной, если расхождение не превышает 0,5 км/ч.

При расчете тормозного пути по интервалам времени рекомендуется следующий порядок расчета.

- Определить фактические (с учетом скорости наполнения тормозных цилиндров) значения расчетных тормозных коэффициентов для чугунных и композиционных тормозных колодок в данном интервале времени по следующим зависимостям:

$$g_{рф}^ч = g_p^ч \cdot \frac{g_{р\text{ сост}}^{\%}}{100\%}; \quad (23)$$

$$g_{рф}^к = g_p^к \cdot \frac{g_{р\text{ сост}}^{\%}}{100\%}. \quad (24)$$

- Предположить среднее значение скорости движения поезда $v_{ср}^{пр}$ на рассматриваемом интервале времени.

- Вычислить значения расчетных коэффициентов трения чугунных и композиционных тормозных колодок при предполагаемой средней скорости:

$$\varphi_{кр}^ч = 0,27 \cdot \frac{v_{ср}^{пр} + 100}{5 \cdot v_{ср}^{пр} + 100}; \quad (25)$$

$$\varphi_{кр}^к = 0,36 \cdot \frac{v_{ср}^{пр} + 150}{2 \cdot v_{ср}^{пр} + 150}. \quad (26)$$

- Определить значения удельной тормозной силы, действующей на поезд в рассматриваемом интервале времени:

$$b_T^q = 1000 \cdot g_{pf}^q \cdot \varphi_{кр}^q; \quad (27)$$

$$b_T^k = 1000 \cdot g_{pf}^k \cdot \varphi_{кр}^k; \quad (28)$$

$$b_T = b_T^q + b_T^k. \quad (29)$$

- Рассчитать значение основного сопротивления движению поезда в рассматриваемом интервале времени:

$$w'_{ох} = 2,4 + 0,011 \cdot v_{ср}^{пр} + 0,00035 \cdot v_{ср}^{пр2}; \quad (30)$$

$$w''_o = a + b \cdot v_{ср}^{пр} + c \cdot v_{ср}^{пр2}; \quad (31)$$

$$w = \frac{w''_o \cdot Q + w'_{ох} \cdot P}{P + Q}. \quad (32)$$

- Определиться со значением уклона, на котором будет производиться расчет в рассматриваемом интервале времени $i_{ср}$.

- Согласно выражению (15) определить изменение скорости Δv на рассматриваемом интервале времени.

- Определить значение конечной и средней скоростей движения:

$$v_k = v_n + \Delta v; \quad (33)$$

$$v_{ср} = \frac{v_n + v_k}{2}. \quad (34)$$

- Сравнить полученное $v_{ср}$ и предположенное $v_{ср}^{пр}$ значения скорости. Если расхождение составляет менее 0,5 км/ч, то уточнение расчетов не требуется. Если расхождение между скоростями $v_{ср}$ и $v_{ср}^{пр}$ более 0,5 км/ч, то необходимо повторить расчет, приняв $v_{ср}^{пр} = v_{ср}$.

- После уточнения расчетов определить путь, пройденный поездом на рассматриваемом интервале времени:

$$\Delta S = 0,278 \cdot v_{ср} \cdot \Delta t, \text{ м.} \quad (35)$$

Затем переходят к расчету на следующем интервале времени, приняв в качестве начальной скорости движения конечную скорость предыдущего интервала времени. Расчет ведут до момента остановки поезда.

Результаты расчета удобно представить в виде табл. 10.

Расчет тормозного пути по интервалам времени

Δt	$g_{\text{рост}}^{\%}$	$g_{\text{рб}}^{\%}$	$g_{\text{рб}}^{\%}$	$v_{\text{ср}}^{\text{м/с}}$	$\varphi_{\text{ср}}^{\circ}$	$\varphi_{\text{ср}}^{\circ}$	$b_{\text{т}}^{\text{кг/т}}$	$b_{\text{т}}^{\text{кг/т}}$	$b_{\text{т}}^{\text{кг/т}}$	$w_{\text{ср}}^{\text{кг/т}}$	$w_{\text{ср}}^{\text{кг/т}}$	$w^{\text{кг/т}}$	$i_{\text{ср}}^{\circ}$	$b_{\text{т}} + w \mp i_{\text{ср}}^{\text{кг/т}}$	$v_{\text{н}}^{\text{км/ч}}$	$\Delta v^{\text{км/ч}}$	$v_{\text{ср}}^{\text{км/ч}}$	$v_{\text{ср}}^{\text{км/ч}}$	$\Delta S^{\text{м}}$	$\sum \Delta S^{\text{м}}$
c	%	тс/т	тс/т	км/ч	—	—	кг/т	кг/т	кг/т	кг/т	кг/т	кг/т	°/с	кг/т	км/ч	км/ч	км/ч	км/ч	м	м
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21

Таблица 10

Пример расчета тормозного пути по интервалам времени

Таблица 11

Δt	$g_{\text{рост}}^{\%}$	$g_{\text{рб}}^{\%}$	$g_{\text{рб}}^{\%}$	$v_{\text{ср}}^{\text{м/с}}$	$\varphi_{\text{ср}}^{\circ}$	$\varphi_{\text{ср}}^{\circ}$	$b_{\text{т}}^{\text{кг/т}}$	$b_{\text{т}}^{\text{кг/т}}$	$b_{\text{т}}^{\text{кг/т}}$	$w_{\text{ср}}^{\text{кг/т}}$	$w_{\text{ср}}^{\text{кг/т}}$	$w^{\text{кг/т}}$	$i_{\text{ср}}^{\circ}$	$b_{\text{т}} + w + i_{\text{ср}}^{\text{кг/т}}$	$v_{\text{н}}^{\text{км/ч}}$	$\Delta v^{\text{км/ч}}$	$v_{\text{ср}}^{\text{км/ч}}$	$v_{\text{ср}}^{\text{км/ч}}$	$\Delta S^{\text{м}}$	$\Sigma \Delta S^{\text{м}}$
с	%	тс/т	тс/т	км/ч	—	—	кг/т	кг/т	кг/т	кг/т	кг/т	кг/т	°/с	кг/т	км/ч	км/ч	км/ч	км/ч	м	м
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
0-3	0	0	0	60	0,108	0,280	0	0	0	4,32	1,83	1,90	2,90	-1,00	60	-0,1	60,1	60,05	50,08	50,08
3-6	10,1	0,021	0,007	60	0,108	0,280	2,27	1,96	4,23	4,32	1,83	1,90	2,90	3,23	60,1	0,3	59,8	59,95	50,0	100,08
6-9	29,4	0,062	0,022	59,5	0,108	0,280	6,70	6,16	12,86	4,29	1,82	1,89	2,43	12,32	59,8	1,3	58,5	59,15	49,33	149,41
9-12	44,4	0,094	0,033	58	0,109	0,282	10,25	9,31	19,56	4,22	1,78	1,85	2,43	18,98	58,5	1,9	56,5	57,55	48,00	197,41
12-15	59,4	0,126	0,044	55	0,111	0,284	13,99	12,50	26,49	4,06	1,71	1,78	1,94	26,33	56,6	2,7	53,9	55,25	46,08	243,49
15-18	69,4	0,147	0,051	52	0,114	0,286	16,76	14,59	31,35	3,92	1,64	1,70	1,94	31,11	53,9	3,2	50,7	52,3	43,62	287,11
18-21	79,4	0,168	0,059	49	0,117	0,289	19,66	17,05	36,71	3,78	1,57	1,63	1,64	36,7	50,7	3,8	46,9	48,8	40,70	327,81
21-24	89,4	0,190	0,066	45	0,120	0,293	22,8	19,34	42,14	3,60	1,49	1,55	1,64	42,05	46,9	4,3	42,6	44,75	37,32	365,13
24-27	92,2	0,195	0,068	40	0,126	0,297	24,57	20,20	44,77	3,40	1,39	1,45	1,64	44,58	42,6	4,6	38	40,3	33,61	398,74
27-30	96,3	0,204	0,071	35,5	0,132	0,302	26,93	21,44	48,37	3,23	1,31	1,40	3,28	46,49	38	4,8	33,2	35,6	29,69	428,43
30-33	97,8	0,207	0,072	30,5	0,140	0,308	28,98	22,18	51,16	3,06	1,23	1,28	3,28	49,16	33,2	5,0	28,2	30,7	25,60	454,03
33-36	98,5	0,209	0,073	25,5	0,149	0,314	31,14	22,92	54,06	2,79	1,15	1,20	3,28	51,98	28,2	5,3	22,9	25,55	21,31	475,34
36-39	99,3	0,211	0,073	20	0,162	0,322	34,18	23,51	57,69	2,76	1,08	1,13	3,28	55,54	22,9	5,7	17,2	20,05	16,72	492,06
39-42	100	0,212	0,074	14	0,181	0,332	38,37	24,57	62,94	2,62	1,01	1,05	3,28	60,71	17,2	6,2	11,0	14,1	11,76	503,82
42-45	100	0,212	0,074	7,5	0,211	0,344	44,73	25,46	70,19	2,55	0,97	1,01	1,52	69,68	11,0	7,2	3,8	7,4	6,17	509,99
45-46	100	0,212	0,074	1,9	0,251	0,356	53,21	26,34	79,55	2,55	0,97	1,01	1,52	79,04	3,8	3,8	0	1,9	0,37	510,36

Пример 4. Определим тормозной путь, проходимый грузовым поездом при начальной скорости 60 км/ч до полной остановки на профиле, показанном на рис. 7, если дано:

основное удельное сопротивление движению рассчитываемого состава, определяемое по формуле:

$$w_o'' = 0,889 + 0,00629 \cdot v + 0,0001572 \cdot v^2;$$

расчетный тормозной коэффициент чугунных колодок в поезде $\vartheta_p^ч = 0,212$;

расчетный тормозной коэффициент композиционных колодок в поезде $\vartheta_p^к = 0,074$;

вес состава $Q = 4200$ т;

вес локомотива $P = 120$ т;

длина состава 950 м;

единичное ускорение поезда $\xi = 123,2$.

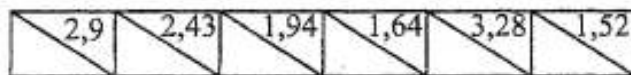


Рис. 7. Расчетный профиль

Диаграмма наполнения тормозных цилиндров полностью совпадает с диаграммой, рассчитанной в примере 3 (табл. 8).

Определим фактические (с учетом скорости наполнения тормозных цилиндров) значения расчетных тормозных коэффициентов для чугунных и композиционных тормозных колодок в данном интервале времени от 0 до 3 с:

$$\vartheta_{рф}^ч = \vartheta_p^ч \cdot \frac{\vartheta_{р\text{ сост}}^{\%}}{100\%} = 0,212 \cdot \frac{0\%}{100\%} = 0 \text{ тс/т};$$

$$\vartheta_{рф}^к = \vartheta_p^к \cdot \frac{\vartheta_{р\text{ сост}}^{\%}}{100\%} = 0,074 \cdot \frac{0\%}{100\%} = 0 \text{ тс/т}.$$

Предположим среднее значение скорости движения поезда на рассматриваемом интервале равным $v_{ср}^{пр} = 60$ км/ч.

Определяем значения расчетных коэффициентов трения чугунных и композиционных тормозных колодок:

$$\varphi_{кр}^q = 0,27 \cdot \frac{v_{ср}^{пр} + 100}{5 \cdot v_{ср}^{пр} + 100} = 0,27 \cdot \frac{60 + 100}{5 \cdot 60 + 100} = 0,108;$$

$$\varphi_{кр}^k = 0,36 \cdot \frac{v_{ср}^{пр} + 150}{2 \cdot v_{ср}^{пр} + 150} = 0,36 \cdot \frac{60 + 150}{2 \cdot 60 + 150} = 0,28.$$

Определим значения удельной тормозной силы, действующей на поезд в рассматриваемом интервале времени:

$$b_T^q = 1000 \cdot g_{рф}^q \cdot \varphi_{кр}^q = 1000 \cdot 0 \cdot 0,108 = 0 \text{ кгс/т};$$

$$b_T^k = 1000 \cdot g_{рф}^k \cdot \varphi_{кр}^k = 1000 \cdot 0 \cdot 0,28 = 0 \text{ кгс/т};$$

$$b_T = b_T^q + b_T^k = 0 + 0 = 0 \text{ кгс/т}.$$

Рассчитаем значение основного сопротивления движению поезда в рассматриваемом интервале времени:

$$w'_{ох} = 2,4 + 0,011 \cdot v_{ср}^{пр} + 0,00035 \cdot v_{ср}^{пр2} = 2,4 + 0,011 \cdot 60 + 0,00035 \cdot 60^2 = 4,32 \text{ кгс/т};$$

$$w''_o = 0,889 + 0,00629 \cdot v_{ср}^{пр} + 0,0001572 \cdot v_{ср}^{пр2} = 0,889 + 0,00629 \cdot 60 + 0,0001572 \cdot 60^2 = 1,83 \text{ кгс/т};$$

$$w = \frac{w''_o \cdot Q + w'_{ох} \cdot P}{P + Q} = \frac{1,83 \cdot 4200 + 4,32 \cdot 120}{120 + 4200} = 1,90 \text{ кгс/т}.$$

На данном интервале времени поезд находится на спуске, равном $i_{ср} = -2,90\text{‰}$.

Изменение скорости на рассматриваемом интервале составит:

$$\Delta v = -\frac{\xi \cdot (b_T + w \mp i_{ср})}{3600} \cdot \Delta t = -\frac{123,2 \cdot (0 + 1,9 - 2,90)}{3600} \cdot 3 = 0,1 \text{ км/ч}.$$

Конечная и средняя скорости движения равны:

$$v_k = v_n - \Delta v = 60 + 0,1 = 60,1 \text{ км/ч};$$

$$v_{ср} = \frac{v_n + v_k}{2} = \frac{60 + 60,1}{2} = 60,05 \text{ км/ч}.$$

Сравниваем полученное $v_{ср} = 60,05 \text{ км/ч}$ и предположенное $v_{ср}^{пр} = 60 \text{ км/ч}$ значения скорости. Так как расхождение составляет менее $0,5 \text{ км/ч}$, то уточнение расчетов не требуется.

Определим путь, пройденный поездом на рассматриваемом интервале времени: $\Delta S = 0,278 \cdot v_{ср} \cdot \Delta t = 0,278 \cdot 60,05 \cdot 3 = 50,08 \text{ м}$.

Дальнейший расчет представим в виде табл. 11.

5. Порядок заполнения справки ВУ-45

Справка ВУ-45 выдается машинисту ведущего локомотива осматривающим вагоны после полного опробования тормозов в поезде, а также после сокращенного — если предварительно на станции было произведено полное опробование тормозов от стационарной компрессорной установки или другого локомотива.

В справке ВУ-45 осматривающим указываются следующие данные:

- вес состава и число осей;
- о требуемом расчетном нажатии колодок;
- о фактическом расчетном нажатии колодок;
- требуемое и фактическое количество ручных тормозных осей в поезде (для грузовых, грузо-пассажирских и почтово-багажных поездов);
- номер хвостового вагона, величина выхода штока тормозного цилиндра хвостового вагона;
- количество (в процентах) композиционных колодок;
- время вручения справки и номер вагона, у которого встречаются осматривающие при опробовании тормозов;
- плотность тормозной сети поезда;
- значение зарядного давления в тормозной магистрали хвостового вагона грузового поезда.

Форма справки ВУ-45 представлена в табл. 12.

Сведения, заносимые в графу «Другие данные» справки, имеют следующую расшифровку:

ТЦПВ — выход штока тормозного цилиндра последнего вагона;

ДПВ — давление в тормозной магистрали последнего вагона, кгс/см²;

К-100, К-75 — в составе поезда соответственно 100% или 75% вагонов, оборудованных композиционными колодками;

ЭПТ — в поезде включены электропневматические тормоза;

ЭПП — в поезде включены электропневматические тормоза, в составе поезда имеются один-два вагона без ЭПТ, но с включенным автоматическим тормозом;

П — в грузовой поезд включены пассажирские вагоны или локомотивы;

В10 — выполнено полное опробование тормозов с 10-минутной выдержкой автотормозов в заторможенном состоянии на горном режиме;

РИЦ — в составе поезда имеются вагоны с включенными тормозами западноевропейского типа со ступенчатым отпуском;

ВО — наибольшее время отпуска тормоза хвостовых вагонов (указывается для грузовых поездов свыше 100 осей).

Справка ВУ-45

Лицевая сторона

МПС РФ
Штемпель станцииФорма ВУ-45
Время выдачи ____ ч ____ мин

СПРАВКА

об обеспечении поезда тормозами и исправном их действии

Локомотив серия № ____ « ____ » ____ 20 ____ г.

Поезд № ____ весом ____ тс. Всего осей ____

Требуемое нажатие колодок в тс ____

Ручных тормозов в осях ____

Тормозное нажатие на ось, тс	Количество осей	Нажатие колодок, тс	Другие данные
1,25			
2,5			
3,5			
5			
6			
6,5			
7			
8			
8,5			
9			
10			
12			ТЦПВ
14			ДПВ
15			Встр.
16			
18			
Всего			

Наличие ручных тормозных осей ____

Плотность тормозной сети поезда ____

Хвостовой вагон № ____

Подпись ____

Отметка о производстве опробования тормозов в пути следования

Станция или место опробования тормозов	Вид опробования тормозов	При изменении			Подпись
		Вес поезда, всего осей	Нажатие колодок, тс		
			Требуемое	Фактическое	

После прицепки локомотива к составу осмотрщик обязан сообщить машинисту особенности формирования состава: наличие в составе грузового поезда пассажирских вагонов, локомотивов, вагонов моторвагонного подвижного состава, количество вагонов с отключенными тормозами, количество вагонов (в процентах), оборудованных композиционными колодками, сведения о загрузке вагонов (груженные, порожние), количество вагонов в пассажирском поезде, наличие в нем вагонов с выключенными электропневматическими тормозами или вагонов с включенным тормозом западноевропейского типа. Данные особенности осмотрщик обязан зафиксировать в справке ВУ-45.

Вес состава определяется суммированием веса брутто всех вагонов для грузового поезда, а для пассажирского еще и учитывается вес локомотива (вес состава и число осей были определены в первой части курсового проекта).

Требуемое расчетное нажатие колодок определяется исходя из величины единого наименьшего нажатия $\vartheta_p^{\text{норм}}$ на 100 тс веса поезда (состава) по следующим зависимостям:

- для грузового поезда $\sum K_p = \frac{\vartheta_p^{\text{норм}} \cdot Q}{100};$ (36)

- для пассажирского поезда $\sum K_p = \frac{\vartheta_p^{\text{норм}} \cdot (P + Q)}{100}.$ (37)

Величину $\vartheta_p^{\text{норм}}$ определяют исходя из нормативов к графику движения поездов, приведенных в табл. 13.

Нормативы графика движения поездов

№ п/п	Категория поезда	Тип тормоза и колодок	Максимально допустимая скорость, км/ч, на спусках до 0,010 включительно	Нажатие на 100 тс веса состава (поезда)	
				Единое наименьшее, тс	Минимально допустимое, тс
1	Пассажирский	Пневматика, ЭПТ, чугун, композиция	120	60	45
2	Пассажирский	ЭПТ, композиция	140	78	68
3	Пассажирский с вагонами РИЦ и тормозом КЕ	Пневматика, чугун, композиция	160	70	—
4	Грузовой порожний до 350 осей и рефрижераторный	Пневматика, композиция	100	55	50
5	Грузовой груженный, рефрижераторный и хозяйственный поезд	Пневматика, чугун, композиция	80 (90*)	33	28

*Примечание. На участках с трехзначной сигнализацией при зеленом огне локомотивного светофора.

Пример 5. Определим требуемое расчетное нажатие для грузового поезда весом 3200 т при максимальной допустимой скорости движения 80 км/ч.

Требуемое расчетное нажатие равно:

$$\sum K_p = \frac{g_p^{\text{норм}} \cdot Q}{100} = \frac{33 \cdot 3200}{100} = 1056 \text{ тс.}$$

Пример 6. Определим требуемое расчетное нажатие для пассажирского поезда весом 1200 т с локомотивом весом 120 т при максимальной допустимой скорости движения 120 км/ч.

Требуемое расчетное нажатие равно:

$$\sum K_p = \frac{g_p^{\text{норм}} \cdot (P + Q)}{100} = \frac{60 \cdot (120 + 1200)}{100} = 792 \text{ тс.}$$

Фактическое расчетное нажатие определяется путем суммирования расчетных нажатий всех осей состава (поезда) при заполнении справки ВУ-45 по нормативным данным. Для рассматриваемого в курсовой работе грузового поезда зависимость будет иметь вид:

$$\sum K_p^\Phi = K_{p1} \cdot n_1 + K_{p2} \cdot n_2 + K_{p3} \cdot n_3 + K_{p4} \cdot n_4 + K_{p5} \cdot n_5, \quad (38)$$

где $K_{p1} - K_{p5}$ – расчетные тормозные нажатия одной оси для вагонов 1-5 групп соответственно в пересчете на чугунные колодки (тс), принятые по нормативам из табл. 14;

$n_1 - n_5$ – число осей вагонов 1-5 групп соответственно.

Для пассажирского поезда необходимо дополнительно учесть тормозное нажатие локомотива:

$$\sum K_p^\Phi = K_{p1} \cdot n_1 + K_{p2} \cdot n_2 + K_{p3} \cdot n_3 + K_{p4} \cdot n_4 + K_{p5} \cdot n_5 + K_p^{\text{лок}} \cdot n_{\text{лок}}, \quad (39)$$

где $K_p^{\text{лок}}$ – расчетное нажатие на одну ось локомотива (тс), принятое по нормативам табл. 15;

$n_{\text{лок}}$ – число тормозных осей локомотива.

Расчет выполняется при заполнении лицевой части справки ВУ-45.

Таблица 14

Расчетные нажатия тормозных колодок (в пересчете на чугунные)
на одну ось пассажирских и грузовых вагонов

№ п/п	Тип вагона	Нажатие тормозных колодок на ось, тс
1	2	3
1	Цельнометаллические пассажирские вагоны с тарой весом: 53 тс и более 48 тс и более, но менее 53 тс 42 тс и более, но менее 48 тс	10,0 9,0 8,0
2	Цельнометаллические пассажирские вагоны габарита РИЦ с тормозом КЕ и чугунными тормозными колодками: на пассажирском режиме на скоростном режиме	10,0 15,0
3	Цельнометаллические пассажирские вагоны ВЛ-РИЦ на тележках ТВЗ-ЦНИИ «М» с тормозом КЕ и композиционными колодками (в пересчете на чугунные): на пассажирском режиме на скоростном режиме	10,0 13,0
4	Пассажирские вагоны длиной 20,2 м и менее	9,0

1	2	3
5	Остальные вагоны пассажирского парка	6,5
6	Грузовые вагоны с чугунными тормозными колодками при включении: на груженный режим на средний режим на порожний режим	7,0 5,0 3,5
7	Грузовые вагоны с композиционными тормозными колодками при включении: на груженный режим на средний режим на порожний режим	8,5 7,0 3,5
8	Четырехосные изотермические и багажные цельнометаллические вагоны с односторонним торможением	6,0
9	Вагоны рефрижераторного подвижного состава с чугунными тормозными колодками при включении: на груженный режим на средний режим на порожний режим	8,5 7,0 3,5
10	Вагоны рефрижераторного подвижного состава с композиционными тормозными колодками при включении: на средний режим на порожний режим	7,0 4,5
11	Хоппер-дозаторы ЦНИИ-2 и ЦНИИ-3 (колодки чугунные) при включении: на груженный режим на порожний режим	3,5 1,25
12	Хоппер-дозаторы ЦНИИ-2 и ЦНИИ-3 (колодки композиционные) при включении: на груженный режим на порожний режим	7,0 3,5
13	Хоппер-дозаторы ЦНИИ-ДВЗ и хоппер-цементовозы постройки до 1973 г. (колодки чугунные) при включении: на груженный режим на порожний режим	6,0 2,5
14	Хоппер-дозаторы (колодки композиционные) при включении: на средний режим на порожний режим	7,0 3,0
15	Хоппер-дозаторы ЦНИИ-ДВЗМ (колодки чугунные) при включении: на груженный режим на порожний режим	7,0 3,5
16	Думпкары ЗВС50, 4ВС50, 5ВС60 (колодки чугунные) при включении: на груженный режим на средний режим на порожний режим	6,0 4,5 3,0

1	2	3
17	Думпкары 6ВС60, 7ВС60, ВС66, 2ВС105 (колодки чугунные) при включении: на груженный режим на средний режим на порожний режим	7,0 4,5 3,5
18	Хоппер-дозаторы ЦНИИ-ДВЗМ, 55-76, 55-76М и думпкары 6ВС60, 7ВС60, ВС66, 3ВС50, 4ВС50, 5ВС60, 2ВС105 (колодки композиционные) при включении: на средний режим на порожний режим	7,0 3,5

Примечания. 1. В грузовых вагонах с выходом штока тормозного цилиндра от 180 до 230 мм расчетное нажатие принимается равным 70% от нормативного. Грузовые вагоны с выходом штока тормозного цилиндра более 230 мм в расчетном нажатии не учитываются.

2. Расчетные силы нажатия композиционных тормозных колодок на ось цельнометаллических пассажирских вагонов поездов, обращающихся со скоростями до 120 км/ч включительно, принимать в пересчете на чугунные колодки по эффективности одинаковыми с чугунными. При скоростях от 120 до 140 км/ч включительно – на 25% больше, при скоростях от 140 до 160 км/ч включительно – на 30% больше, чем для чугунных колодок.

Таблица 15

Величины расчетных сил нажатия чугунных тормозных колодок и наличие тормозных осей у локомотивов некоторых серий

№ п/п	Серия локомотива	Расчетное нажатие, тс/ось		Количество тормозных осей	
		Порожний режим	Груженный режим	Автотормозных	Ручного тормоза
1	2	3	4	5	6
1	ЧС2, ЧС2Т, ЧС4, ЧС4Т	16,0*	12,0**	6	2
2	ЧС6, ЧС7, ЧС8, ЧС200	16,0*	12,0**	8	2
3	ВЛ80, ВЛ80К, ВЛ80Т, ВЛ80С, ВЛ80Р, ВЛ82, ВЛ82М	14,0	6,0	8	4
4	ВЛ10, ВЛ10У, ВЛ11, ВЛ11М, ВЛ65, ВЛ60 в/и, ВЛ23	11,0	5,0	8	4
5	ВЛ85, ВЛ15	11,0	5,0	12	4
6	ЭП1	18,0*	14,0**	6	2
7	ТЭП60, ТЭП70	12,0		6	2
8	2ТЭ116, 2ТЭ110 в/и, 2М62, 2М62У, 2ТЭ121	12,0	5,0	12	4

1	2	3	4	5	6
9	М62, М62У	12,0	5,0	6	2
10	ЧМЭЗ, ЧМЭЗТ, ЧМЭЗЭ, ТЭМ2, ТЭМ2У, ТЭМ2УМ, ТЭМ18	14,0	5,0	6	2
11	ТЭМ7, ТЭМ7А	13,0	5,5	8	2

Примечания. * На скоростном режиме при скоростях более 60 км/ч;

** – на скоростном режиме при скоростях менее 60 км/ч и на пассажирском режиме.

Пример 7. Определим фактическое нажатие грузового поезда, имеющего в своем составе три группы вагонов:

1–22 четырехосных полувагона с чугунными колодками на среднем режиме работы воздухораспределителя;

2–10 четырехосных полувагонов с чугунными колодками на порожнем режиме работы воздухораспределителя;

3–12 четырехосных цистерн с композиционными колодками на среднем режиме работы воздухораспределителя.

Для вагонов 1-й группы, имеющих $n_1 = 88$ осей, по табл. 14 расчетное нажатие $K_{p1} = 5$ тс/ось.

Для вагонов 2-й группы, имеющих $n_2 = 40$ осей, расчетное нажатие $K_{p2} = 3,5$ тс/ось.

Для вагонов 3-й группы, имеющих $n_3 = 48$ осей, расчетное нажатие $K_{p3} = 7,0$ тс/ось.

Расчетное нажатие поезда будет равно:

$$\sum K_p^\Phi = K_{p1} \cdot n_1 + K_{p2} \cdot n_2 + K_{p3} \cdot n_3 = 5 \cdot 88 + 3,5 \cdot 40 + 7 \cdot 48 = 916 \text{ тс.}$$

При заполнении справки ВУ-45 расчет выполняется в лицевой части таблицы. Порядок заполнения представлен в табл. 16.

Таблица 16

Пример заполнения лицевой части ВУ-45 для грузового поезда

Тормозное нажатие на ось, тс	Количество осей	Нажатие колодок, тс	Другие данные
1	2	3	4
1,25			
2,5			
3,5	40	140	

1	2	3	4
5	88	440	
6			
6,5			
7	48	336	
8			
8,5			
9			
10			
12			ТЦПВ
14			ДПВ
15			Встр.
16			
18			
Всего	176	916	

Пример 8. Определим расчетное нажатие тормозных колодок пассажирского поезда, в составе которого были вагоны двух групп:

1–12 – цельнометаллические пассажирские вагоны с тарой весом 51 т;

2–4 – цельнометаллические пассажирские вагоны с тарой весом 55 т.

Локомотивом для данного поезда является тепловоз ТЭП70.

Для вагонов 1-й группы, имеющих $n_1 = 48$ осей, по табл. 10 расчетное нажатие $K_{p1} = 9$ тс/ось.

Для вагонов 2-й группы, имеющих $n_2 = 16$ осей, расчетное нажатие $K_{p2} = 10$ тс/ось.

Для тепловоза ТЭП70, имеющего $n_{\text{лок}} = 6$ осей, расчетное нажатие $K_{\text{лок}} = 12$ тс/ось.

Расчетное нажатие поезда будет равно:
 $\sum K_p^\Phi = K_{p1} \cdot n_1 + K_{p2} \cdot n_2 + K_{\text{лок}} \cdot n_{\text{лок}} = 9 \cdot 48 + 10 \cdot 16 + 12 \cdot 6 = 664$ тс.

Решение данной задачи представлено в табл. 17.

Таблица 17

Пример заполнения лицевой части ВУ-45 для пассажирского поезда

Тормозное нажатие на ось, тс	Количество осей	Нажатие колодок, тс	Другие данные
1	2	3	4
1,25			
2,5			
3,5			

1	2	3	4
5			
6			
6,5			
7			
8			
8,5			
9	48	432	
10	16	160	
12	6	72	ТЦПВ
14			ДПВ
15			Встр.
16			
18			
Всего	70	664	

Необходимое количество ручных тормозов вагонов или ручных тормозных башмаков для удержания грузового поезда в случае неисправности или невозможности приведения в действие автоматических тормозов определяется на каждые 100 тс веса состава в зависимости от крутизны уклона по табл. 18.

Таблица 18

Потребное количество ручных тормозов и тормозных башмаков на каждые 100 тс веса состава для удержания на месте после остановки на перегоне в случае неисправности автотормозов грузового, грузо-пассажирского, почтово-багажного, рефрижераторного, хозяйственного поездов в зависимости от крутизны уклона

Крутизна спуска, ‰	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
Число тормозных башмаков	$\frac{0,2}{0,4}$	$\frac{0,2}{0,4}$	$\frac{0,2}{0,4}$	$\frac{0,2}{0,4}$	$\frac{0,2}{0,6}$	$\frac{0,3}{0,8}$	$\frac{0,4}{1,0}$	$\frac{0,4}{1,2}$	$\frac{0,5}{1,4}$	$\frac{0,6}{1,6}$	$\frac{0,6}{1,8}$	$\frac{0,7}{2,0}$	$\frac{0,8}{2,2}$
Количество тормозных осей	0,4	0,4	0,4	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	—	—
Крутизна спуска, ‰	26	28	30	32	34	36	38	40					
Число тормозных башмаков	$\frac{0,8}{2,4}$	$\frac{0,9}{2,6}$	$\frac{1,0}{2,8}$	$\frac{1,0}{3,0}$	$\frac{1,1}{3,2}$	$\frac{1,2}{3,4}$	$\frac{1,2}{3,6}$	$\frac{1,3}{3,8}$					
Количество тормозных осей	—	—	—	—	—	—	—	—					

Примечания. 1. В числителе — при нагрузке 10 т/ось и более, в знаменателе — при нагрузке на ось менее 10 т/ось.

2. При подсчете числа осей ручного торможения необходимо учитывать ручные тормоза грузовых и специальных вагонов, имеющих боковой привод (привод без сквозной тормозной площадки).

Единое наименьшее количество ручных тормозов на каждые 100 тс веса состава грузового, рефрижераторного, хозяйственного, грузо-пассажирского или почтово-багажного поезда, следующего в пределах двух или более дорог, принимается 0,6 тормозной оси. При потребности в ручных тормозах более установленного единого наименьшего количества, а также если в составе грузового, рефрижераторного или хозяйственного поезда не может быть обеспечено единое наименьшее количество ручных тормозов, недостающее их количество компенсируется ручными тормозными башмаками.

Пример 9. Определим потребное количество тормозных башмаков для грузового поезда весом 3100 т при нагрузке менее 10 т/ось для удержания поезда на спуске при крутизне спуска 16‰.

Число тормозных башмаков равно:

$$n_{\text{тб}} = \frac{K \cdot Q}{100} = \frac{1,4 \cdot 3100}{100} = 43,4 \approx 44 \text{ башмака,}$$

где $K = 1,4$ – требуемое число башмаков на 100 тс веса поезда, определяемое по табл. 18.

Плотность тормозной сети поезда при полном опробовании тормозов и при сокращенном опробовании, если оно выполняется после полного опробования от стационарной компрессорной установки или другого локомотива, проверяют совместно машинист и осмотрщик. Последний записывает результат проверки в справку ВУ-45. В остальных случаях результат проверки плотности тормозной сети при опробовании тормозов записывает в справку ВУ-45 машинист. Плотность тормозной сети поезда должна соответствовать нормативам, приведенным в табл. 19.

Таблица 19

Время снижения давления на 0,5 кгс/см² в главных резервуарах при проверке плотности тормозной сети поезда (зарядное давление в тормозной магистрали локомотива 5,0–5,2 кгс/см²)

Серия локомотива	Время при длине поезда в осях, с								
	До 100	101-150	151-200	201-250	251-300	301-350	351-400	401-450	451-480
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ТЭ10, ТГ106, ТГМ3, ТГМ5, ТЭМ1, ТЭМ2, ЧМЭ2, ЧМЭ3	58	40	29	25	23	20	17	15	13
ВЛ60 (всех индексов), М62, ТЭМ7	69	46	34	29	25	22	20	18	15

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ВЛ8, ВЛ10 (с № 19), ВЛ11	80	58	46	34	31	26	23	21	17
ВЛ80 (всех индексов), ВЛ82, ВЛ10 (№ 1-18)	98	69	52	46	38	33	29	26	22
2ТЭ10, 2ТЭ116, 2ТЭ121, ТЭ3, ТГ16, ВЛ11м, ВЛ85, 2М62, 2М62у	104	75	58	52	40	36	32	29	24
ВЛ15, 2ТЭ10у	129	93	71	64	51	45	40	36	30
3М62у	207	138	102	87	75	66	60	51	45

Для локомотивов серий, не указанных в табл. 19, требуемая плотность принимается по табл. 20 в соответствии с объемом главных резервуаров.

Таблица 20

Допускаемые минимальные значения времени снижения давления в главных резервуарах на 0,5 кгс/см² в зависимости от числа осей состава на каждые 1000 л объема главных резервуаров

Число осей	351-400	401-500	501-600	601-700	701-800
Время, с	15	13	10	9	8

Давление в тормозной магистрали хвостового вагона грузового поезда должно быть не менее величины, указанной в табл. 21.

Таблица 21

Давление в тормозной магистрали хвостового вагона грузового поезда, кгс/см²

Зарядное давление в ТМ на локомотиве, кгс/см ²	Длина состава в осях		
	До 300	301-350	Более 350
4,8-5,2	4,5	4,3	
5,3-5,5	5,0	4,8	4,7
5,0-5,2			4,2
5,6-5,8	5,0		

6. Определение тормозного пути по номограммам и таблицам

В нормативной и справочной литературе, посвященной тормозным и тяговым расчетам, приведены номограммы в виде графиков или таблиц, показывающие зависимость тормозного пути, проходимого поездом с момента начала торможения до полной остановки, от скорости начала тор-

можения, величины расчетного нажатия тормозных колодок (ϑ_p) в тс/т или тоннах силы на 100 т веса поезда и крутизны уклона, определенные для следующих возможных вариантов расчета:

- грузовых поездов с чугунными колодками при экстренном торможении;
- пассажирских поездов с чугунными колодками при пневматическом и электропневматическом торможении;
- для экстренного торможения электропоездов на чугунных тормозных колодках с повышенным содержанием фосфора при электропневматическом и пневматическом торможении;
- для одиночно следующих локомотивов при ПСТ или ЭТ.

Номограммы тормозных путей грузовых поездов при чугунных колодках рассчитаны для составов длиной до 200 осей. Однако эти номограммы можно использовать при тормозных расчетах более длинных грузовых поездов. Для поездов длиной от 200 до 300 осей расчетные тормозные коэффициенты необходимо уменьшить на 10%, а для поездов длиной от 300 до 400 осей — на 15%.

Для решения задачи данным способом необходимо выбрать диаграмму или таблицу, соответствующую вашему типу поезда (грузовой, пассажирский, электропоезд, одиночный локомотив), величине уклона, на котором происходит торможение, режиму торможения (ПСТ или ЭТ, пневматическое или электропневматическое).

После этого на диаграмме по горизонтали требуется отложить величину расчетного тормозного коэффициента ϑ_p (в курсовой работе расчетный тормозной коэффициент берется по справке ВУ-45), провести перпендикуляр до пересечения с линией, соответствующей скорости начала торможения, снести полученную точку пересечения на горизонтальную ось, определив таким образом тормозной путь поезда.

Если задача решается при помощи таблиц, то после выбора необходимой таблицы нужно выбрать столбец соответствующей скорости начала торможения и строку, соответствующую расчетному тормозному коэффициенту. На их пересечении будет находиться искомый тормозной путь.

Тормозные номограммы для грузовых и пассажирских поездов приведены на рис. 8–17.

Однако, как правило, уклон, на котором необходимо определить тормозной путь, не совпадает с теми, для которых были рассчитаны номограммы. Скорость, с которой начинается торможение, также может не совпадать с отмеченной на номограммах. В этих случаях необходимо воспользоваться линейной интерполяцией. Порядок использования номограмм и таблиц, а также применения интерполяции представлен в примере 10.

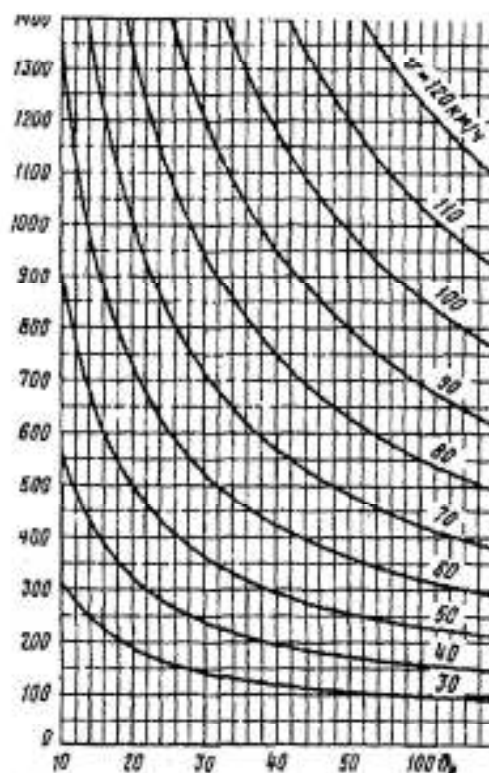
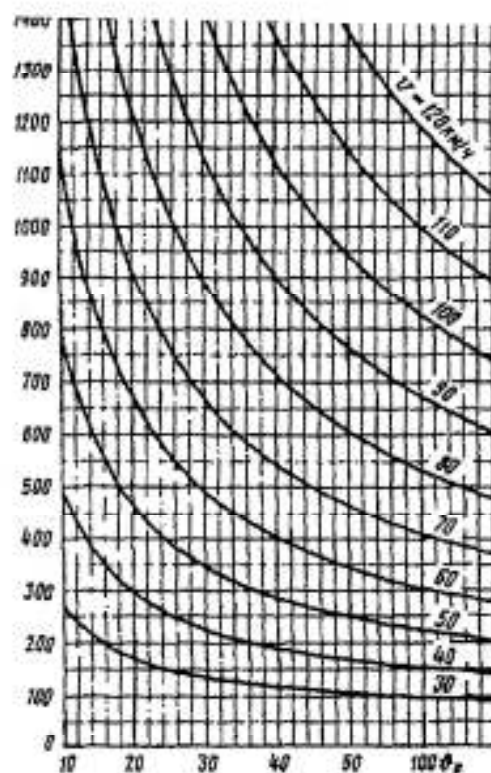


Рис. 8. Тормозной путь грузового поезда на площадке $i = 0\text{‰}$ и на спуске $i = 2\text{‰}$.

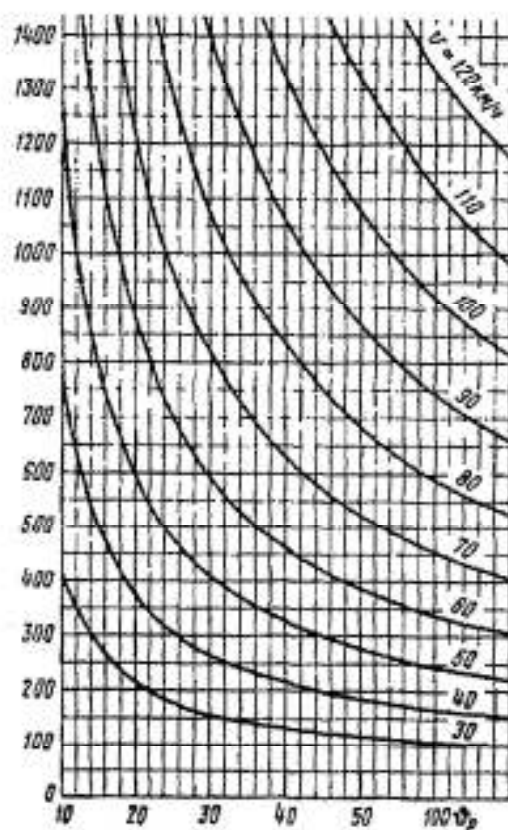
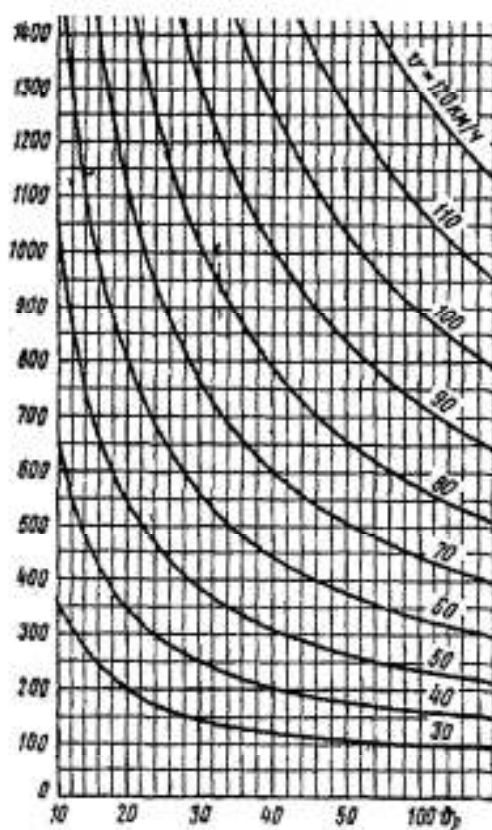


Рис. 9. Тормозной путь грузового поезда на спуске $i = 4\text{‰}$ и на спуске $i = 6\text{‰}$.

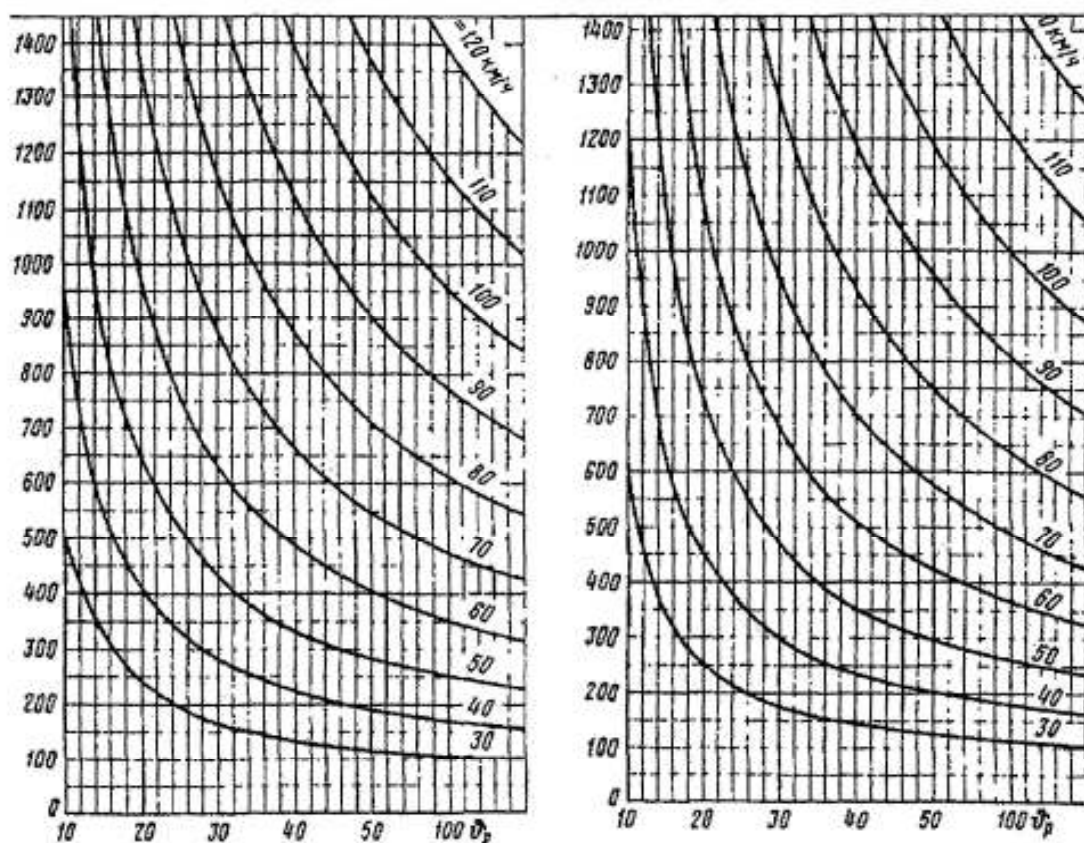


Рис. 10. Тормозной путь грузового поезда на спуске $i = 8\text{‰}$ и на спуске $i = 10\text{‰}$

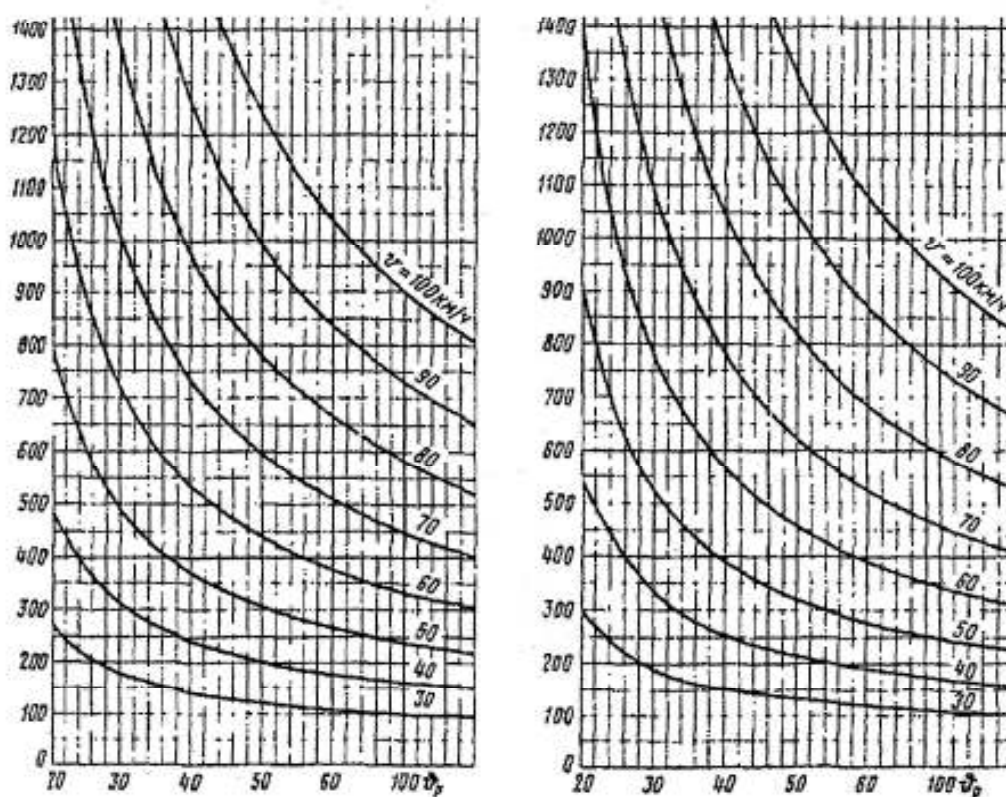


Рис. 11. Тормозной путь грузового поезда на спуске $i = 12\text{‰}$ и на спуске $i = 14\text{‰}$

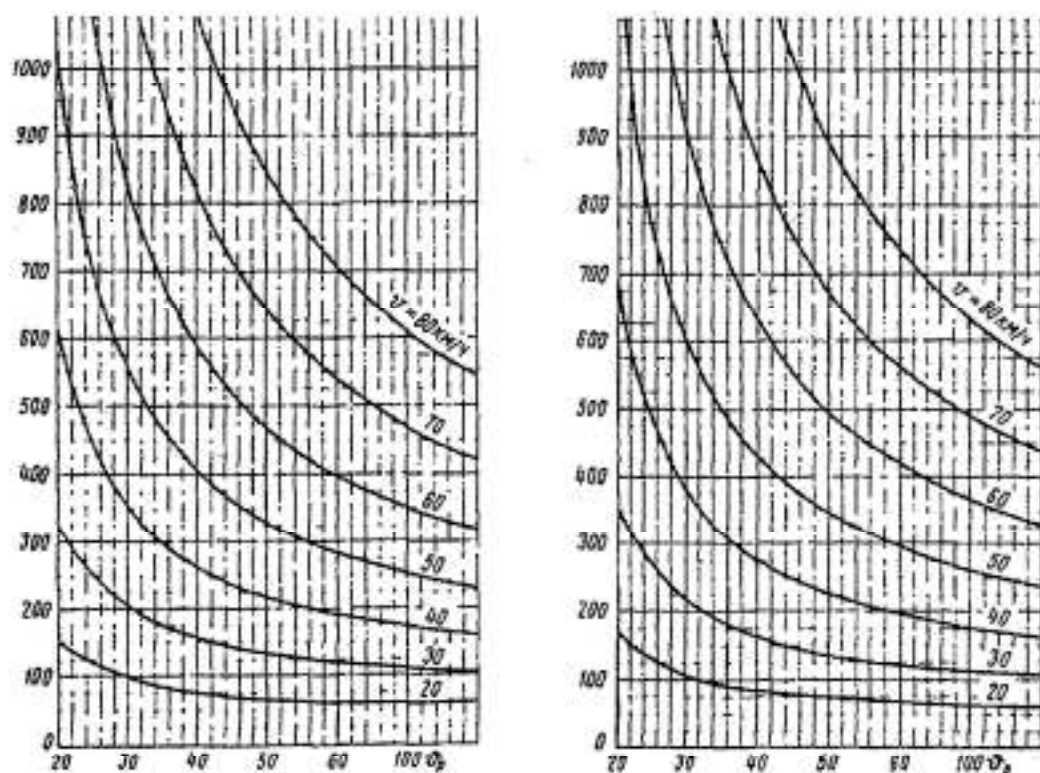


Рис.12. Тормозной путь грузового поезда на спуске $i = 16\text{‰}$ и на спуске $i = 18\text{‰}$

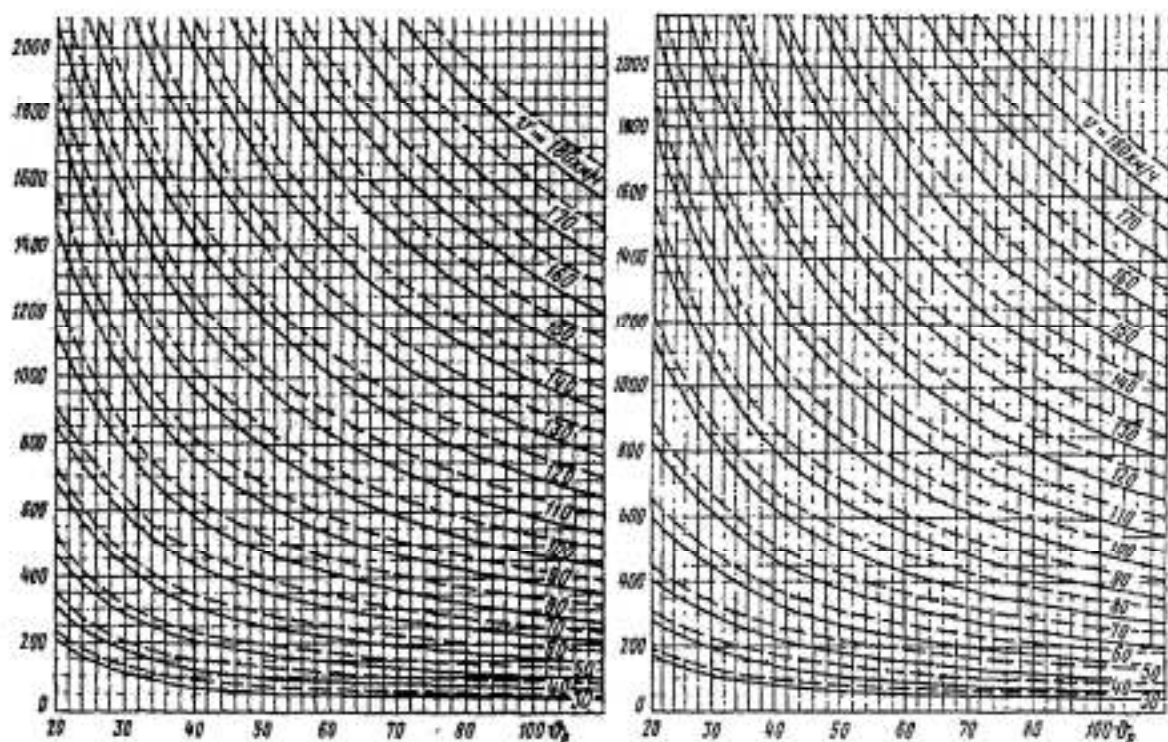


Рис. 13. Тормозной путь пассажирского поезда на площадке $i = 0\text{‰}$ и на спуске $i = 2\text{‰}$
(сплошные линии – при электропневматическом торможении,
пунктирные – при пневматическом)

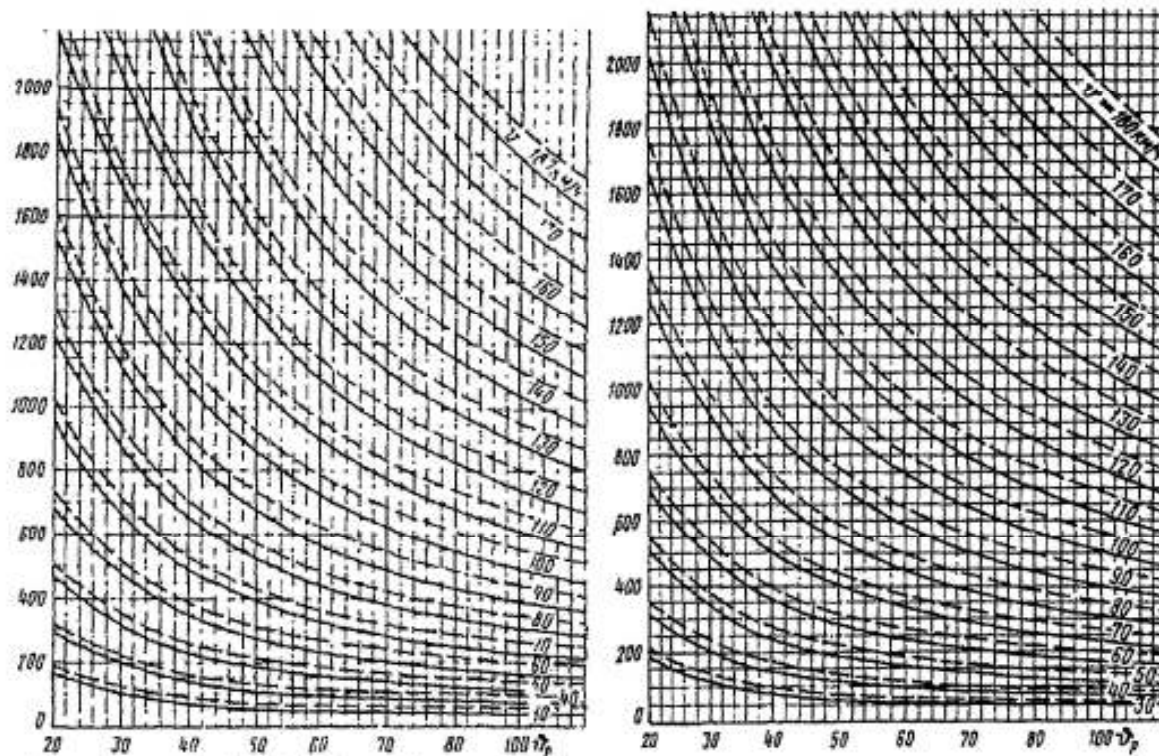


Рис. 14. Тормозной путь пассажирского поезда на спуске $i = 4\text{‰}$ и на спуске $i = 6\text{‰}$
(сплошные линии – при электропневматическом торможении,
пунктирные – при пневматическом)

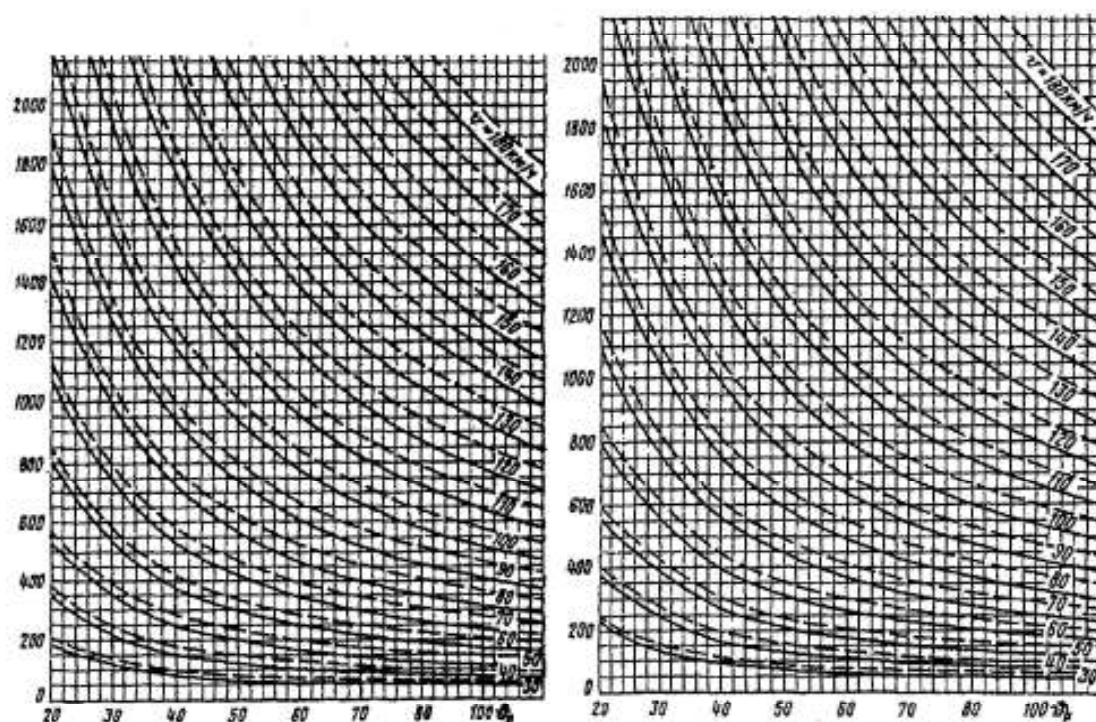


Рис. 15. Тормозной путь пассажирского поезда на спуске $i = 8\text{‰}$ и на спуске $i = 10\text{‰}$
(сплошные линии – при электропневматическом торможении,
пунктирные – при пневматическом)

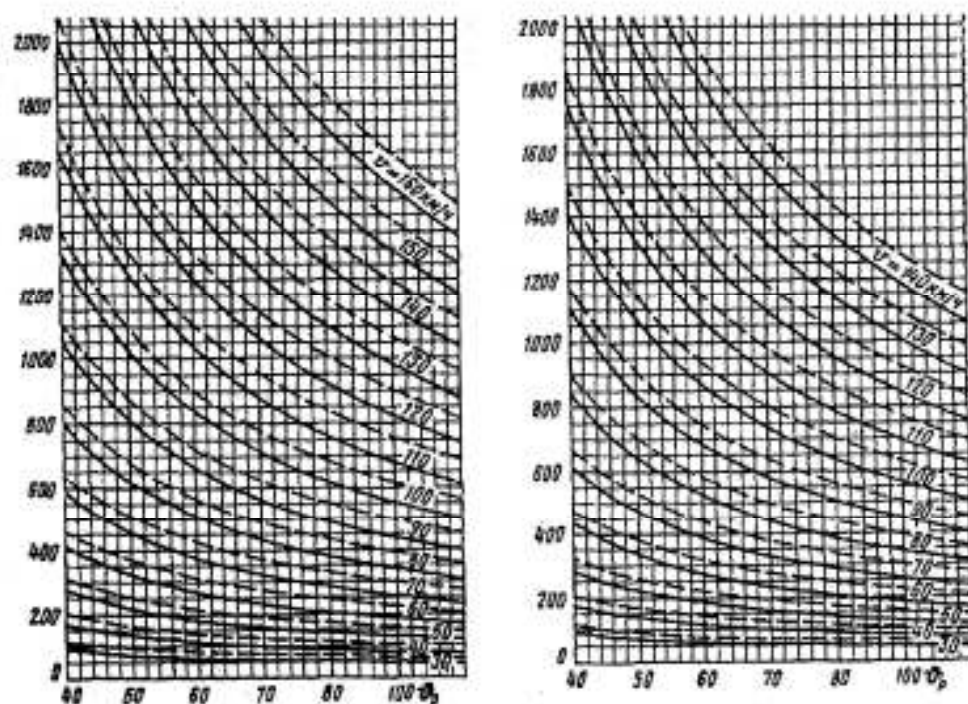


Рис. 16. Тормозной путь пассажирского поезда на спуске $i = 12\text{‰}$ и на спуске $i = 14\text{‰}$
(сплошные линии – при электропневматическом торможении,
пунктирные – при пневматическом)

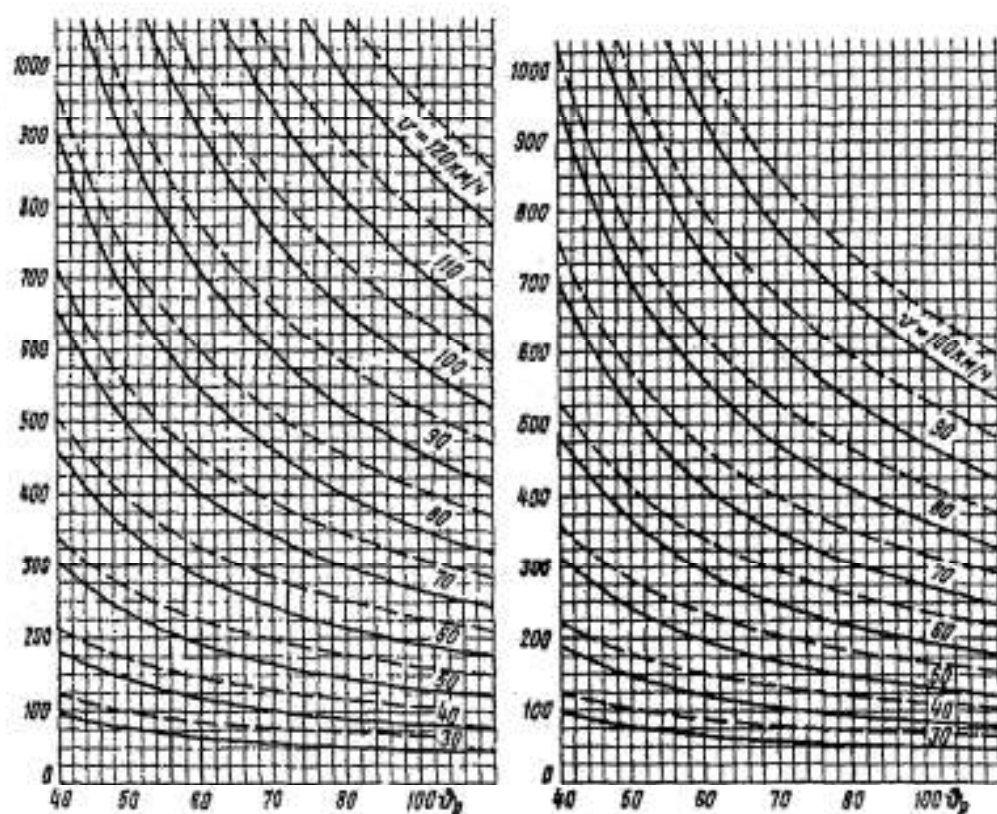


Рис. 17. Тормозной путь пассажирского поезда на спуске $i = 16\text{‰}$ и на спуске $i = 18\text{‰}$
(сплошные линии – при электропневматическом торможении,
пунктирные – при пневматическом)

Пример 10. Определим по таблицам и номограммам тормозной путь поезда, имеющего скорость в начале торможения 57 км/ч, расчетный тормозной коэффициент 37 тс/100 т при движении на спуске с уклоном $-7,4\text{‰}$.

В таблицах номограмм нет данной скорости, расчетного тормозного коэффициента и уклона. Ближайшие величины уклонов, для которых имеются рассчитанные данные, составляют -6‰ и -8‰ . Ближайшие значения скоростей начала торможения, для которых выполнены расчеты, равны 55 и 60 км/ч. При этом расчетные тормозные коэффициенты составляют 35 и 40 тс/100т. По таблицам, показанным на рис. 18 и 19, определим значения тормозного пути для ближайших имеющихся параметров.

Грузовой поезд, $i = -0,006$												
v, км/ч	Расчетный тормозной коэффициент											
	0.1	0.15	0.2	0.25	0.28	0.3	0.33	0.35	0.4	0.45	0.5	
10	53	40	35	31	30	29	28	28	27	26	25	
15	107	77	63	56	53	51	49	48	45	43	42	
20	185	127	102	88	82	79	75	73	68	65	62	
25	291	193	151	128	119	114	107	104	96	91	86	
30	430	276	212	178	163	158	146	141	130	121	114	
35	604	379	287	237	217	208	192	184	169	157	147	
40	818	503	376	308	280	265	246	236	214	198	185	
45	1075	649	480	390	353	333	308	294	266	245	228	
50	1377	818	600	483	436	411	379	361	325	298	276	
55	1727	1015	736	595	536	496	455	436	391	357	330	
60	2128	1236	896	709	636	586	544	520	464	422	389	
65	2580	1479	1061	841	753	705	646	612	545	495	455	

Рис. 18. Определение тормозного пути грузового поезда на спуске 6‰

Таким образом, получены следующие результаты: для уклона -6‰ при расчетном тормозном коэффициенте 35 тс/100 т при скорости 55 км/ч тормозной путь составит 436 м, а при скорости 60 км/ч – 520 м. Для того же уклона при расчетном тормозном коэффициенте 40 тс/100 т при скорости 55 км/ч – 391 м, а при скорости 60 км/ч – 464 м.

Для определения тормозных путей при скорости 57 км/ч воспользуемся линейной интерполяцией, то есть

$$S_{57} = S_{55} + \frac{S_{60} - S_{55}}{60 - 55} \cdot (57 - 55).$$

Для тормозного коэффициента 35 тс/100 т получим:

$$S_{57} = 436 + \frac{520 - 436}{60 - 55} \cdot (57 - 55) = 469,6 \text{ м.}$$

Для 40 тс/100т:

$$S_{57} = 391 + \frac{464 - 391}{60 - 55} \cdot (57 - 55) = 420,2 \text{ м.}$$

Теперь воспользуемся интерполяцией для определения тормозного пути при нажатии 37 тс/100 т при скорости 57 км/ч:

$$S_{37\text{тс}} = S_{35\text{тс}} - \frac{S_{35\text{тс}} - S_{40\text{тс}}}{40 - 35} \cdot (37 - 35) = 469,6 - \frac{469,6 - 420,2}{40 - 35} \cdot (37 - 35) = 449,84 \text{ м.}$$

Грузовой поезд, $i = -0,008$											
v, км/ч	Расчетный тормозной коэффициент										
	0.1	0.15	0.2	0.25	0.28	0.3	0.33	0.35	0.4	0.45	0.5
10	59	43	37	33	31	30	29	29	27	27	26
15	122	83	67	59	55	53	51	50	47	45	43
20	215	139	109	93	88	83	78	73	71	67	64
25	344	212	162	136	125	119	112	108	100	94	89
30	518	307	229	189	173	164	153	147	135	125	118
35	742	425	311	253	230	217	202	193	176	163	152
40	1024	568	410	329	297	280	259	247	223	205	192
45	1371	738	525	418	376	353	325	309	278	254	236
50	1790	938	659	520	465	436	400	370	330	310	286
55	2267	1169	815	638	567	530	487	460	410	372	343
60	2887	1499	1008	787	681	636	587	549	487	441	405
65	3537	1731	1181	913	809	753	686	648	573	517	473

Рис. 19. Определение тормозного пути грузового поезда на спуске 8 ‰

В результате для уклона -8 ‰ получились следующие результаты: при расчетном тормозном коэффициенте 35 тс/100 т для скорости 55 км/ч тормозной путь составил 460 м, для скорости 60 км/ч – 549 м; при расчетном тормозном коэффициенте 40 т/100 тс при скорости 55 км/ч тормозной путь равен 410 м, при скорости 60 км/ч – 487 м.

Аналогично предыдущей номограмме рассчитаем тормозной путь при скорости 57 км/ч для тормозного коэффициента 35 тс/100 т:

$$S_{57} = 460 + \frac{549 - 460}{60 - 55} \cdot (57 - 55) = 495,6.$$

Для тормозного коэффициента 40 тс/100 т получим:

$$S_{57} = 410 + \frac{487 - 410}{60 - 55} \cdot (57 - 55) = 440,8.$$

Затем, как и для предыдущей таблицы, определим тормозной путь при скорости 57 км/ч и расчетном тормозном коэффициенте 37 тс/100 т:

$$S_{37\text{тс}} = S_{35\text{тс}} - \frac{S_{35\text{тс}} - S_{40\text{тс}}}{40 - 35} \cdot (37 - 35) = 495,6 - \frac{495,6 - 440,8}{40 - 35} \cdot (37 - 35) = 473,68 \text{ м.}$$

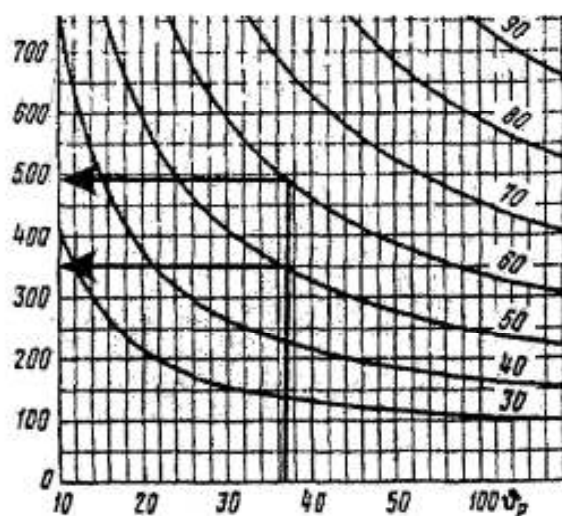
Нами получены тормозные пути при скорости 57 км/ч и расчетном тормозном коэффициенте 37 тс/100 т на уклонах -6 и -8 ‰.

Далее воспользуемся линейной интерполяцией, чтобы определить тормозной путь на уклоне $-7,4$ ‰.

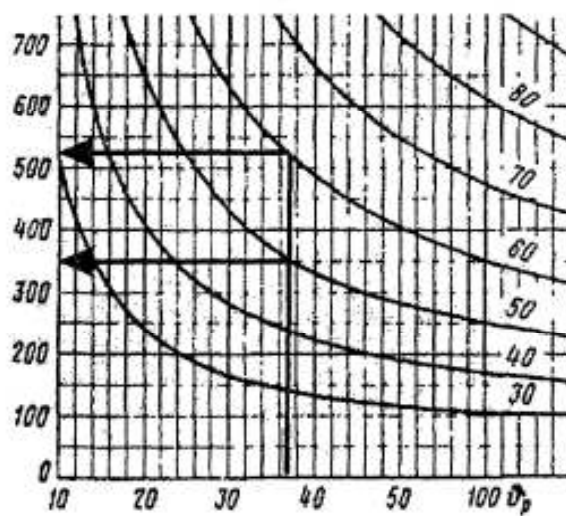
$$S_{-7,4} = S_{-6} + \frac{S_{-8} - S_{-6}}{8 - 6} \cdot (7,4 - 6) = 449,84 + \frac{473,68 - 449,84}{8 - 6} \cdot (7,4 - 6) = 466,53 \text{ м.}$$

Итак, получен результат 466,53 м.

Повторим решение этой же задачи при наличии тормозных номограмм в виде графиков. Как и в предыдущем случае имеются номограммы только для уклонов -6 и -8 ‰ и графики имеются только для скоростей 50 и 60 км/ч.



Тормозной путь грузового поезда на спуске $i = -6$ ‰



Тормозной путь грузового поезда на спуске $i = -8$ ‰

Рис. 20. Пример определения тормозного пути грузового поезда по номограммам

Как видно из рис. 20, на уклоне -6 ‰ при расчетном тормозном коэффициенте 37 тс/100 т получаем при скорости 50 км/ч путь 350 м, а при скорости 60 км/ч — 490 м. При уклоне же -8 ‰ при расчетном тормозном

коэффициенте 37 тс/100 т получаем при скорости 50 км/ч путь 350 м, а при скорости 60 км/ч — 525 м.

Применив те же подходы, что и при табличной форме номограмм, получим при уклоне -6‰ и скорости 57 км/ч:

$$S_{57} = S_{50} + \frac{S_{60} - S_{50}}{60 - 50} \cdot (57 - 50) = 350 + \frac{490 - 350}{60 - 50} \cdot (57 - 50) = 448 \text{ м.}$$

При уклоне -8‰ и скорости 57 км/ч:

$$S_{57} = S_{50} + \frac{S_{60} - S_{50}}{60 - 50} \cdot (57 - 50) = 350 + \frac{525 - 350}{60 - 50} \cdot (57 - 50) = 472,5 \text{ м.}$$

Воспользуемся линейной интерполяцией, чтобы определить тормозной путь на уклоне $-7,4\text{‰}$.

$$S_{-7,4} = S_{-6} + \frac{S_{-8} - S_{-6}}{8 - 6} \cdot (7,4 - 6) = 448 + \frac{472,5 - 448}{8 - 6} \cdot (7,4 - 6) = 465,15 \text{ м.}$$

Полученная разница не превышает 1,5 м, что удовлетворяет требуемой точности расчетов.

Библиографический список

1. *Правила тяговых расчетов для поездной работы.* – М.: Транспорт, 1985. – 287 с.
2. *Гребенюк П. Т. Тяговые расчеты: справочник / П. Т. Гребенюк, А. Н. Долганов, А. И. Скворцова.* – М.: Транспорт, 1987. – 272 с.
3. *Барщенок В. Н. Обеспечение поездов тормозами / В. Н. Барщенок, Н. В. Кондратьев.* – СПб.: ННУ, 2004. – 44 с.

Содержание

1. Определение единичного ускорения поезда.....	1
2. Определение тормозного пути по интервалам скорости.....	2
3. Учет длины и массы поезда при тормозных и тяговых расчетах.....	9
4. Определение тормозного пути по интервалам времени.....	14
5. Порядок заполнения справки ВУ-45.....	23
6. Определение тормозного пути по номограммам и таблицам.....	34
Библиографический список.....	45

**БЕЗОПАСНОСТЬ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ
И АВТОМАТИЧЕСКИЕ ТОРМОЗА ПОДВИЖНОГО СОСТАВА**

Часть 2

Методические указания

Составители канд. техн. наук, проф. **Г. С. АФОНИН**,
канд. техн. наук, доц. **Д. Н. КУРИЛКИН**

Редактор и корректор *Н. Г. Берзина*
Компьютерная верстка *А. В. Никифорова*

План 2009 г., № 108

Подписано в печать с оригинал-макета 19.10.2010.

Формат 60×84 1/16. Бумага для множ. апп. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 3,0. Тираж 200 экз.

Заказ 989.

Петербургский государственный университет путей сообщения.

190031, СПб., Московский пр., 9.

Типография ПГУПС. 190031, СПб., Московский пр., 9.