

ОРГАНИЗАЦИЯ СОТРУДНИЧЕСТВА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ (ОСЖД)

I издание

Разработано экспертами Комиссии ОСЖД
по инфраструктуре и подвижному составу 5-7 сентября 2005 г.,
г.Варна, Республика Болгария

Утверждено совещанием Комиссии ОСЖД
по инфраструктуре и подвижному составу 10 ноября 2005 г.

Дата вступления в силу 10 ноября 2005 г.

**Р
549/3**

**МЕТОДИКА РАСЧЕТА
ТОРМОЗОВ ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ КОЛЕИ 1520 ММ**

1. Общие и нормативные положения

1.1. Настоящая методика рекомендуется к применению при проектировании тормозных систем новых и проходящих модернизацию эксплуатируемых типов грузовых и рефрижераторных вагонов (далее – вагонов) с колодочным тормозом, предназначенных для эксплуатации на железных дорогах с шириной колеи 1520 мм с максимальными скоростями до 120 км/ч и осевыми нагрузками до 25 тс (245 кН),

1.2. По настоящей методике производятся расчеты механической части автоматических пневматических тормозов и стояночных тормозов вагонов.

1.3. Расчет тормоза производится по следующим этапам для подтверждения обеспечения:

- требуемой тормозной эффективности вагона в составе поезда;
- безюзового торможения вагона (отсутствие юза колес при торможениях);
- допустимой мощности, приходящейся на колодку при торможении;
- удержания вагона стояночным тормозом на уклоне расчетной крутизны.

1.4. Исходные для расчета автоматического тормоза нормативные параметры тормозной системы для вагонов с композиционными и чугунными тормозными колодками, оборудуемых и необорудуемых авторежимом, приведены в табл. 1-4.

Таблица 1 - Минимальные, допускаемые по эффективности торможения, значения расчетных коэффициентов силы нажатия композиционных тормозных колодок вагонов

Тип вагона	Наличие авторежима на вагоне	Режимы воздухораспределителя по загрузке вагона	Величина $[\delta_p]$	
			Композиционные колодки	В пересчете на чугунные колодки
Грузовой вагон	Нет	Порожний	0,21	0,55
		Средний	0,13	0,33
		Груженный	0,17	0,44
Грузовой вагон	Есть	Средний (Порожний вагон)	0,21	0,55
		Средний (Полная загрузка вагона)	0,13	0,33
		Груженный (Полная загрузка вагона)	0,17	0,44
Изотермический вагон	Нет	При установленном режиме, соответствующем загрузке вагона	<u>0,21</u>	<u>0,55</u>
			0,24	0,62

Примечания:

- в числителе для скоростей до 100 км/ч, в знаменателе - до 120 км/ч.
- для вагонов для скоростей более 120 км/ч величины $[\delta_p]$ устанавливаются отдельно.

Таблица 2 - Минимальные допускаемые по эффективности торможения значения расчетных сил нажатия чугунных тормозных колодок на ось вагонов

Переключение режимов по загрузке	Режим включения воздухораспределителя	Загрузка вагона	Тара вагона, тс	Расчетная сила нажатия тормозных колодок, тс
Ручное	груженный	полная	любая	6,5
	порожний	порожний вагон	любая	3,0
Автоматическое		Порожний вагон	любая	6,5
			до 26-27*	3,5
			от 26-27* до 32	4,0
			от 32 до 36	4,5
			от 36 до 45	5,0

*Граничное значение уточняется при расчете тормоза конкретного вагона.

Таблица 3 - Расчетные давления в тормозных цилиндрах вагонов

Наличие авторежима на вагоне	Режим включения воздухораспределителя	Расчетная величина давления, кгс/см ²	
		Порожний вагон	Полная загрузка вагона
Есть	Средний	1,3-1,6	3,0-3,4
	Груженный	1,6-1,8	4,0-4,5
Нет	Порожний	1,4-1,8	
	Средний	3,0-3,4	
	Груженный	4,0-4,5	

Таблица 4 - Расчетные давления в тормозных цилиндрах вагонов с тарой от 26-27т до 45тс, оборудованных авторежимом и композиционными тормозными колодками

Режим включения воздухораспределителя	Масса тары вагона, т	Расчетная величина давления в тормозном цилиндре, кгс/см ²
Средний	до 27	1,3-1,6
	от 27 до 32	1,5-1,7
	от 32 до 36	1,8-2,0
	от 36 до 45	2,1-2,3

2. Методика расчета автоматического тормоза

2.1. Тормозная эффективность вагона

2.1.1. Критерии обеспечения требуемой тормозной эффективности вагона является выполнение условия для расчетного коэффициента силы нажатия колодок

$$\delta_p = \frac{K_p n}{T + Q} \geq [\delta_p], \quad (1)$$

где:

- δ_p - расчетный коэффициент силы нажатия колодок;
- K_p - расчетная сила нажатия тормозной колодки, тс;
- n - число тормозных колодок на вагоне;
- T - сила тяжести порожнего вагона, (тара), тс;
- Q - сила тяжести груза, (грузоподъемность вагона), тс;
- $[\delta_p]$ - минимально допускаемая величина расчетного коэффициента силы нажатия колодок по обеспеченности тормозным нажатием.

2.1.2. Расчет эффективности тормоза вагонов общего назначения проводится как для композиционных, так и для чугунных тормозных колодок.

Для вагонов с «потележечным» торможением (воздействие одного или нескольких тормозных цилиндров на каждую тележку) расчет проводится для одной или каждой тележки с учетом тары и максимальной загрузки, приходящейся на каждую тележку.

Расчетная загрузка Q принимается в соответствии с техническим заданием.

2.1.3 Значения $[\delta_p]$ для вагонов с композиционными тормозными колодками приведены в таблице 1. Для вагонов с чугунными тормозными колодками определяется расчетная сила нажатия колодок на ось вагона, которая должна быть не менее значений, указанных в таблице 2.

2.1.4. Расчетная сила нажатия на тормозную колодку определяется по формулам:

- для композиционных тормозных колодок –

$$K_p = 1,22K \frac{K + 20}{4K + 20} \quad (2)$$

- для чугунных стандартных колодок –

$$K_p = 2,22K \frac{K + 6,25}{5K + 6,25} \quad (3)$$

где K - действительная сила нажатия на одну колодку, тс.

2.1.5. Действительная сила нажатия на одну колодку определяется по формуле:

$$K = \frac{1}{m} (7,85d_{ц}^2 p_{ц} \eta_{ц} - F_1 - F_2) n \eta_{п}, \text{ тс} \quad (4)$$

где:

- m - число тормозных колодок вагона, на которые действует усилие от одного тормозного цилиндра;
- $d_{ц}$ - диаметр поршня тормозного цилиндра, м;
- $p_{ц}$ - расчетное давление воздуха в тормозном цилиндре, принимается для соответствующего режима торможения минимальное - при определении эффективности тормоза и максимальное - при проверке на отсутствие юза колесных пар, кгс/см²;
- $\eta_{ц}$ - к.п.д. тормозного цилиндра, рекомендуется принимать $\eta_{ц} = 0,98$;
- F_1 - усилие сжатия внутренней отпусковой пружины тормозного цилиндра, тс;
- F_2 - усилие пружины авторегулятора рычажной передачи, приведенное к штоку тормозного цилиндра (в расчетах на эффективность порожнего вагона и при проверке отсутствия юза не учитывается), тс;
- n - передаточное число рычажной передачи;
- $\eta_{п}$ - к.п.д. рычажной передачи, следует принимать (в числителе – для новых вагонов, в знаменателе – для модернизированных вагонов:

- для вагонов с одним тормозным цилиндром и симметричной рычажной передачей, для вагонов с одним тормозным цилиндром на каждую тележку, а также при размещении тормозных цилиндров на тележках:
 - 4-осного грузового вагона $\eta_{\text{п}} = 0,97/0,95$;
 - 8-осного грузового вагона $\eta_{\text{п}} = 0,95/0,9$;
 - 4-осного рефрижераторного вагона с одним тормозным цилиндром $\eta_{\text{п}} = 0,95/0,90$;
- для грузовых вагонов с одним тормозным цилиндром и несимметрично рычажной передачей $\eta_{\text{п}} = 0,90/0,85$.

Усилия пружин определяются по формулам:

- внутренней пружины тормозного цилиндра -

$$F_1 = P_{\text{ц}} + C_{\text{ц}} l_{\text{шт}}, \quad (5)$$

- пружины авторегулятора, приведенное к штоку тормозного цилиндра -

$$F_2 = (P_{\text{р}} + C_{\text{р}} l_{\text{р}}) n_{\text{р}}, \quad (6)$$

Обозначения в формулах (5) и (6) следующие:

- $P_{\text{ц}}, P_{\text{р}}$ - соответственно усилия предварительного сжатия внутренней пружины тормозного цилиндра и пружины авторегулятора, тс;
- $C_{\text{ц}}, C_{\text{р}}$ - жесткости соответствующих пружин, тс/м;
- $l_{\text{шт}}$ - расчетный выход штока тормозного цилиндра, м;
- $l_{\text{р}}$ - величина сжатия пружин авторегулятора при торможении, м;
- $n_{\text{р}}$ - передаточное число привода авторегулятора.

2.1.6. Минимальные величины расчетных давлений воздуха в тормозных цилиндрах грузовых и рефрижераторных вагонов, оснащенных типовыми автотормозными приборами, принимаются по данным таблицы 3.

Для вагонов с тарой более 26-27тс, оборудованных авторежимом и композиционными колодками, и имеющими передаточное число рычажной передачи в диапазоне 5,7-5,9 с предварительной регулировкой привода авторежима по давлению в цилиндре, минимальное расчетное давление в тормозных цилиндрах принимается в соответствии с данными таблицы 4.

2.1.7. Значения передаточных чисел рычажных передач вагонов, не оборудованных авторежимом, с тарой от 26-27 тс до 45 тс композиционными колодками и давлениями в тормозных цилиндрах, соответствующими таблице 3, устанавливаются с учетом выполнения условий по п.п. 2.1.1, 2.2.2 и 2.3.1.

Значения передаточных чисел вагонов, оборудованных авторежимом, с тарой 23 тс и менее с композиционными и чугунными колодками и давлениями в тормозных цилиндрах, соответствующими данным таблицы 3, устанавливаются с учетом выполнений условий по п.п. 2.1.1, 2.2.2 и 2.3.1.

1.2. Отсутствие юза при торможении

2.2.1. Расчеты на отсутствие юза колесных пар вагона при торможении выполняются:

- для порожнего и с полной расчетной загрузкой вагона, оборудованного авторежимом;

- для минимальной и максимальной нагрузки на ось при соответствующем режиме включения воздухораспределителей вагона, не оборудованных авторежимом;
- при максимальных расчетных давлениях в тормозных цилиндрах на соответствующем режиме включения воздухораспределителя по данным (табл. 3-4);
- для скоростей движения вагонов 20, 100 и 120 км/ч.

При неравномерном распределении нагрузки на тележки вагона расчеты производятся отдельно для каждой тележки вагона.

2.2.2. Условие отсутствия юза:

$$\delta_p \varphi_{кр} < [\psi_k], \quad (7)$$

где:

- $[\psi_k]$ - расчетный предельный коэффициент сцепления колес с рельсами при торможении;
- $\varphi_{кр}$ - расчетный коэффициент трения тормозных колодок, определяемый по формулам:

- для композиционных колодок –

$$\varphi_{кр} = 0,36 \frac{V+150}{2V+150}, \quad (8)$$

- для чугунных стандартных колодок –

$$\varphi_{кр} = 0,27 \frac{V+100}{5V+100}, \quad (9)$$

где:

- V - скорость движения, км/ч.

2.2.3 Расчетный предельный коэффициент сцепления колес с рельсами при торможении для проверки отсутствия юза определяется из выражения:

$$[\psi] = \psi(q_0) \psi(v), \quad (10)$$

$$\psi(q_0) = 0,17 - 0,0015(q_0 - 5), \quad (11)$$

- для вагонов на тележках грузового типа –

$$\psi(V) = \frac{V + 81}{2,4V + 81} \quad (12)$$

- для вагонов на тележках пассажирского типа

$$\psi(V) = \frac{V + 576}{4V + 576}, \quad (13)$$

где:

- q_0 - нагрузка на колесную пару (осевая нагрузка) вагона, тс;
- v - скорость, км/ч.

При нагрузке на ось вагона менее 5 тс, расчетный коэффициент сцепления колес с рельсами при торможении определять, принимая нагрузку на ось, равной 5 тс.

Рекомендуется, чтобы выполнялось условие:

$$\delta_p \varphi_{кр} \leq 0,9[\psi_k]$$

1.3. Мощность, приходящаяся на колодку при торможении

2.3.1. Количество тормозных колодок при расчете тормозной системы определяется исходя из средней мощности, приходящейся на одну колодку при экстренном торможении с максимальной допускаемой скорости:

$$N = \frac{q_0 V_0^3}{183 S_T m} \leq [N], \quad \text{кВт} \quad (14)$$

где:

- q_0 - максимальная расчетная осевая нагрузка груженого вагона, тс;
- V_0 - максимально допускаемая скорость, км/ч;
- S_T - минимальный расчетный тормозной путь вагона с полной загрузкой в составе поезда на площадке, м;
- m - число колодок, воздействующих на колесную пару;
- $[N]$ - предельно допускаемая средняя мощность, приходящаяся на одну колодку при экстренном торможении.

2.3.2. Величина $[N]$ принимается равной 70кВт для композиционных колодок. Для чугунных стандартных тормозных колодок $[N]$ составляет 35 кВт и является справочной величиной.

2.3.3. Минимальный расчетный тормозной путь вагона на площадке определяется по номограммам тормозных путей, приведенным на рисунках 1 и 2, или по таблицам 5 и 6, принимая расчетный тормозной коэффициент поезда равным расчетному коэффициенту нажатия колодок вагона при максимальном давлении в цилиндрах.

3. Методика расчета стояночного тормоза

3.1. Расчет стояночных тормозов проводится, исходя из условия удержания вагона с полной расчетной загрузкой на уклоне крутизной не менее расчетного значения при моменте сил, прикладываемом к рукоятке тормоза, равном 10 кгс.м. Расчетное значение крутизны уклона, на котором должен удерживаться вагон стояночным тормозом, принимается, как правило, не менее 0,030.

3.2. Расчет стояночных тормозов проводится по действительным силам нажатия колодок от действия стояночного тормоза из условия равенства скатывающих и тормозных сил, действующих на вагон с полной расчетной нагрузкой на уклоне расчетной крутизны:

$$\sum K_c \varphi_{кс} = (T + Q)i \quad (15)$$

где:

- $\sum K_c$ - сумма действительных сил нажатия колодок от действия стояночного тормоза, тс;
- $\varphi_{кс}$ - действительный статический коэффициент трения колодок;
- i - крутизна уклона.

3.3. Величина K_c определяется в соответствии с кинематической схемой привода стояночного тормоза. При этом к.п.д. механизма стояночного тормоза принимается не более 20% к.п.д. автоматического тормоза.

3.4. Действительный статический коэффициент трения колодок определяется по формулам:

- для композиционных колодок –

$$\varphi_{kc} = 0,44 \frac{K_c + 20}{4K_c + 20}, \quad (16)$$

- для чугунных стандартных колодок –

$$\varphi_{кр} = 0,6 \frac{K_c + 6,25}{5K_c + 6,25}, \quad (17)$$

3.5. Крутизна пути, на котором удерживается вагон стояночным тормозом:

$$i = \frac{\sum K_c \varphi_{kc}}{T + Q} \geq [i] \quad (18)$$

где:

$[i]$ - расчетное значение крутизны уклона, принимаемое, как правило, не менее 0,030.

Номограмма тормозных путей **грузовых** поездов
при **КОМПОЗИЦИОННЫХ** колодках на **площадке**

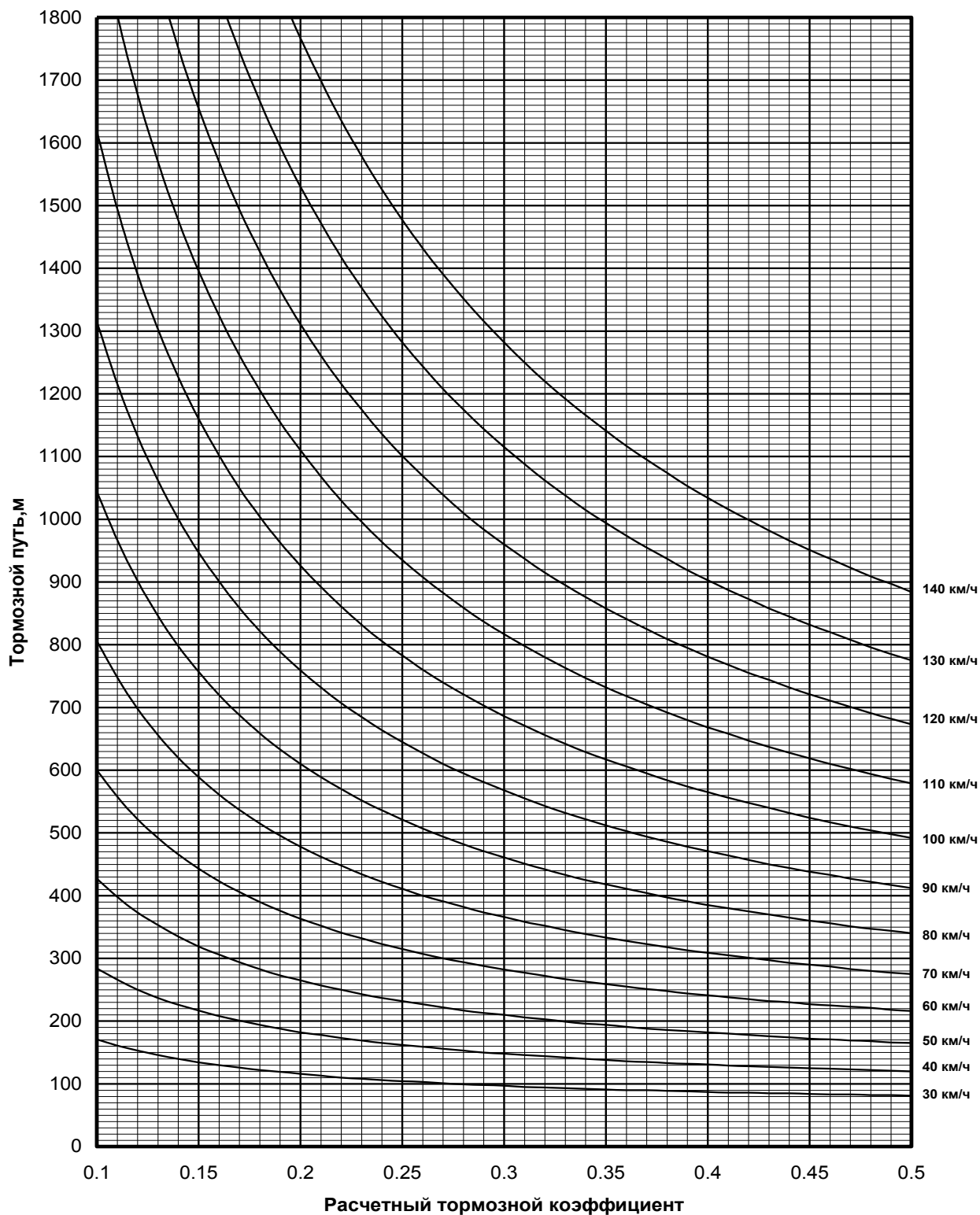


Рисунок 1

Номограмма тормозных путей **грузовых поездов**
при **чугунных** колодках на **площадке**

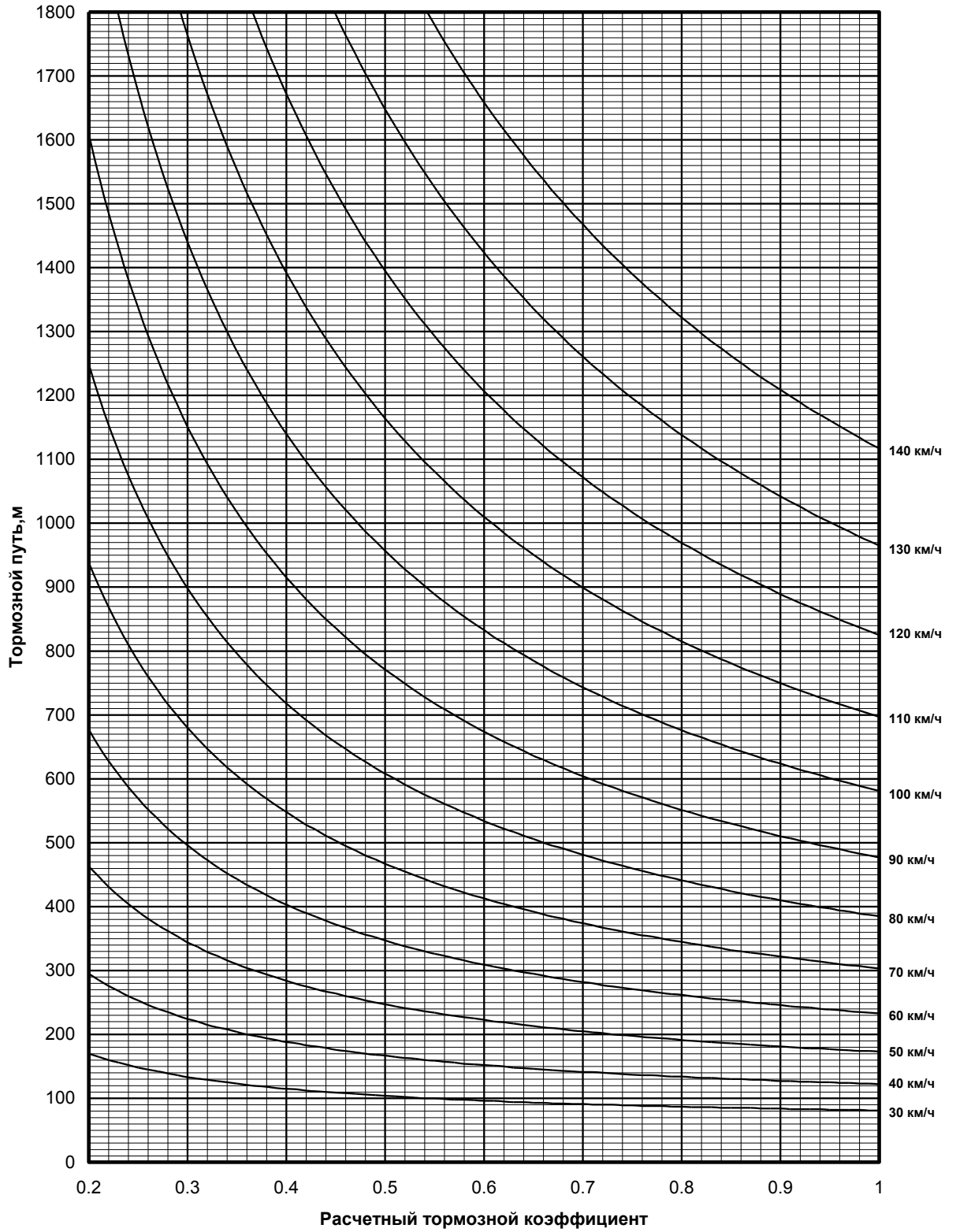


Рисунок 2

Таблица 5. Тормозные пути грузовых поездов при композиционных колодках на площадке

V, км/ч	Расчётный тормозной коэффициент																				
	0.1	0.12	0.14	0.16	0.18	0.2	0.22	0.24	0.26	0.28	0.3	0.32	0.34	0.36	0.38	0.4	0.42	0.44	0.46	0.48	0.5
10	31	29	28	27	26	25	25	24	24	24	23	23	23	23	23	22	22	22	22	22	22
15	56	52	49	46	44	43	42	41	40	39	38	38	37	37	36	36	36	35	35	35	35
20	88	80	74	70	66	64	61	60	58	57	55	54	53	53	52	51	51	50	50	49	49
25	126	113	104	97	92	88	84	81	79	77	75	73	72	71	69	68	67	67	66	65	64
30	171	153	140	130	122	116	110	106	103	99	97	94	92	90	89	87	86	85	83	82	81
35	224	199	180	167	156	147	140	134	129	125	121	118	115	112	110	108	106	104	103	101	100
40	284	250	226	208	194	182	173	165	159	153	148	144	140	136	133	131	128	126	124	122	120
45	351	309	278	254	236	222	210	200	191	184	177	172	167	163	159	155	152	149	146	144	142
50	427	373	335	306	283	265	250	237	227	217	210	203	196	191	186	182	178	174	171	168	165
55	510	444	397	362	334	312	294	278	265	254	244	236	228	222	216	210	205	201	197	193	190
60	600	522	466	423	390	363	341	323	307	294	282	272	263	255	248	241	235	230	225	221	216
65	699	607	540	490	450	419	392	371	352	336	322	310	300	290	282	274	267	261	255	250	245
70	806	698	620	561	515	478	448	422	400	382	366	352	339	328	318	309	301	293	287	280	275
75	921	797	706	638	585	542	507	477	452	431	412	395	381	368	356	346	337	328	320	313	306
80	1044	902	798	720	659	610	570	536	507	482	461	442	425	411	397	385	375	365	356	347	340
85	1175	1014	897	808	738	682	636	598	565	537	513	491	472	456	441	427	415	403	393	384	375
90	1315	1133	1001	901	822	759	707	664	627	595	568	543	522	503	486	471	457	444	433	422	412
95	1462	1258	1111	999	911	840	782	733	692	656	625	598	574	553	534	517	501	487	474	462	451
100	1618	1391	1227	1102	1004	926	861	806	760	721	686	656	629	606	584	565	548	532	517	504	492
105	1782	1531	1349	1211	1103	1015	944	883	832	788	750	717	687	661	637	616	596	579	563	548	534
110	1954	1678	1477	1325	1206	1110	1030	964	908	859	817	780	747	718	692	668	647	628	610	594	579
115	2134	1831	1612	1445	1314	1208	1121	1048	986	933	887	846	810	778	750	724	700	679	659	641	625
120	2322	1992	1752	1570	1427	1311	1216	1136	1069	1010	960	915	876	841	809	781	755	732	711	691	673
125	2518	2159	1898	1700	1544	1419	1315	1228	1154	1091	1036	987	944	906	872	841	813	787	764	743	723
130	2721	2333	2051	1836	1667	1530	1418	1324	1244	1175	1115	1062	1015	974	937	903	873	845	820	796	775
135	2933	2514	2209	1977	1794	1647	1525	1423	1336	1262	1197	1140	1089	1044	1004	968	935	905	877	852	829
140	3153	2702	2374	2123	1926	1767	1636	1526	1432	1352	1282	1220	1166	1117	1074	1034	999	966	937	909	884

Таблица 6. Тормозные пути грузовых поездов при чугунных колодках на площадке

V, км/ч	Расчётный тормозной коэффициент														
	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5	0.55	0.6	0.65	0.7	0.75	0.8
10	38	32	29	27	26	25	24	24	23	23	23	22	22	22	22
15	74	60	52	48	45	42	41	40	39	38	37	36	36	35	35
20	125	97	83	74	69	64	61	59	57	55	54	53	52	51	50
25	192	146	122	108	98	91	86	82	78	76	73	72	70	69	67
30	275	206	170	148	133	123	115	109	104	100	96	93	91	89	87
35	377	278	228	196	175	160	149	140	133	127	122	118	115	112	109
40	499	365	295	253	224	204	188	176	167	159	152	146	141	137	134
45	640	465	374	318	281	254	233	217	205	194	185	178	171	166	161
50	802	579	463	392	344	310	284	264	247	234	223	213	205	198	191
55	985	708	564	476	416	373	340	315	295	278	264	252	242	233	225
60	1189	853	677	569	496	443	403	372	347	326	309	295	282	271	262
65	1416	1013	801	672	584	520	472	435	404	380	359	341	326	313	301
70	1663	1188	938	784	680	605	548	503	467	437	413	392	374	358	345
75	1933	1379	1087	907	785	696	630	577	535	500	471	447	426	407	391
80	2224	1586	1249	1040	898	796	718	657	608	568	534	506	481	460	441
85	2537	1808	1422	1183	1020	903	813	743	687	641	602	569	541	516	494
90	2872	2047	1609	1337	1151	1017	915	836	771	718	674	636	604	576	551
95	3227	2301	1807	1500	1291	1139	1024	934	861	801	751	708	672	640	612
100	3603	2571	2019	1675	1440	1269	1140	1038	957	889	833	785	743	708	676
105	4000	2856	2242	1859	1597	1407	1263	1149	1058	982	919	865	819	779	744
110	4416	3156	2478	2054	1764	1553	1392	1266	1164	1081	1010	951	899	855	815
115	4852	3472	2726	2259	1939	1706	1529	1389	1277	1184	1106	1040	983	934	891
120	5307	3802	2987	2475	2123	1867	1672	1519	1395	1293	1207	1135	1072	1017	969