

А.М. Сафронов, Е.Г. Макеева

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФАКТИЧЕСКОГО ЗНАЧЕНИЯ УДЕЛЬНОЙ ТОРМОЗНОЙ СИЛЫ (РАСЧЕТНОГО ТОРМОЗНОГО КОЭФФИЦИЕНТА) ПАССАЖИРСКОГО ВАГОНА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ПОЕЗДНЫХ ТОРМОЗНЫХ ИСПЫТАНИЙ

Представлена методика определения фактического значения удельной тормозной силы (расчетного тормозного коэффициента) пассажирского вагона по результатам поездных тормозных испытаний, которая базируется на использовании компьютерного моделирования процессов торможения. Приведены расчетные зависимости определения фактических значений удельных тормозных сил и расчетных тормозных коэффициентов. На примере результатов ходовых тормозных испытаний пассажирского вагона с дисковым тормозом показано, что погрешность определения удельной тормозной силы не превышает 1%.

Важнейшей оценочной характеристикой тормозной эффективности вагона является расчетный тормозной коэффициент колодочного тормоза [1, 2, 3] или удельная тормозная сила дискового тормоза, поэтому одной из основных задач ходовых тормозных испытаний пассажирских и грузовых вагонов является определение таких значений указанных характеристик, которые соответствуют измеренным значениям тормозных путей при заданных скоростях движения в начале торможения.

Математическая зависимость между расчетным тормозным коэффициентом (удельной тормозной силой дискового тормоза) и величиной тормозного пути описывается степенной зависимостью:

- для колодочного тормоза:

$$\delta_p = c(V_0) \cdot S_{эксн}(V_0)^{d(V_0)}, \quad (1)$$

- для дискового тормоза:

$$b_{прив} = c(V_0) \cdot S_{эксн}(V_0)^{d(V_0)}, \quad (2)$$

Коэффициенты уравнения определяются по формулам [4, 5]:

для колодочного тормоза:

$$c = \exp \left(\frac{\sum_{i=1}^n \ln(\delta_{pi}) \cdot \sum_{i=1}^n (\ln(S_i(V_i, \delta_{pi})))^2 - \sum_{i=1}^n \ln(\delta_{pi}) \cdot \ln(S_i(V_i, \delta_{pi})) \cdot \sum_{i=1}^n \ln S_i(V_i, \delta_{pi})}{n \cdot (\sum_{i=1}^n \ln(S_i(V_i, \delta_{pi})))^2 - \sum_{i=1}^n (\ln(S_i(V_i, \delta_{pi})))^2} \right), \quad (3)$$

где, V_i - скорость в начале торможения в диапазоне изменения значений от минимального до максимального с шагом ΔV ;

δ_{pi} - расчетный тормозной коэффициент в диапазоне изменения значений от минимальной до максимальной величины с шагом $\Delta \delta$;

$S_i(V_i, \delta_{pi})$ - тормозной путь пассажирского вагона при заданных значениях V_i и δ_{pi}

© А.М. Сафронов, Е.Г. Макеева, 2016

$$d = \frac{n \cdot \sum_{i=1}^n \ln(\delta_{pi}) \cdot \ln(S_i(V_i, \delta_{pi})) - \sum_{i=1}^n \ln(\delta_{pi}) \cdot \sum_{i=1}^n \ln(S_i(V_i, \delta_{pi}))}{n \cdot (\sum_{i=1}^n \ln(S_i(V_i, \delta_{pi})))^2 - \sum_{i=1}^n (\ln(S_i(V_i, \delta_{pi})))^2}, \quad (4)$$

для дискового тормоза:

$$c = \exp \left\{ \frac{\sum_{i=1}^n \ln(b_{npus,i}) \cdot \sum_{i=1}^n (\ln(S_i(V_i, b_{npus,i})))^2 - \sum_{i=1}^n \ln(b_{npus,i}) \cdot \ln(S_i(V_i, b_{npus,i})) \cdot \sum_{i=1}^n \ln S_i(V_i, b_{npus,i})}{n \cdot (\sum_{i=1}^n \ln(S_i(V_i, b_{npus,i})))^2 - \sum_{i=1}^n (\ln(S_i(V_i, b_{npus,i})))^2} \right\} \quad (5)$$

где, V_i - скорость в начале торможения в диапазоне изменения значений от минимального до максимального с шагом ΔV ;

$b_{npus,i}$ - приведенная к поверхности катания колеса удельная тормозная сила в диапазоне изменения значений от минимальной до максимальной величины с шагом Δb ;

$S_i(V_i, b_{npus,i})$ - тормозной путь пассажирского вагона при заданных значениях V_i и $b_{npus,i}$.

$$d = \frac{n \cdot \sum_{i=1}^n \ln(b_{npus,i}) \cdot \ln(S_i(V_i, b_{npus,i})) - \sum_{i=1}^n \ln(b_{npus,i}) \cdot \sum_{i=1}^n \ln(S_i(V_i, b_{npus,i}))}{n \cdot (\sum_{i=1}^n \ln(S_i(V_i, b_{npus,i})))^2 - \sum_{i=1}^n (\ln(S_i(V_i, b_{npus,i})))^2}, \quad (6)$$

Массивы значений параметров, входящих в формулы (3-6), определялись методом компьютерного моделирования процессов торможения по прикладной программе для ЭВМ. Блок-схема вычислений фактических значений удельных тормозных сил (расчетных тормозных коэффициентов) представлена на рисунке 1.

Для иллюстрации изложенной методики на рисунке 2 приведены результаты измерений тормозных путей пассажирского вагона с дисковым тормозом, а в таблице 1 – массив тормозных путей для расчета коэффициентов уравнения (2) согласно формулам (5-6) в заданных диапазонах изменения удельных тормозных сил и скоростей движения в начале торможения (рис. 3).

Сравнительный анализ показал, что расчетные значения тормозных путей для полученных значений удельных тормозных сил (табл. 2) не превышают 1 % (табл. 3) от экспериментальных значений.

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Обозначения идентификаторов:

udn – начальное значение удельной тормозной силы (расчетного тормозного коэффициента);
shagudk – шаг изменения удельной тормозной силы (расчетного тормозного коэффициента);
udk – количество членов ряда значений удельных тормозных сил (расчетных тормозных коэффициентов);
vn – начальное значение скорости;
vk – конечное значение скорости;
shagv – шаг изменения скорости;
S(k)_{эксп} – измеренный тормозный путь для k-ой скорости;
ud(k)_{факт} – фактическое значение удельной тормозной силы (расчетного тормозного коэффициента);

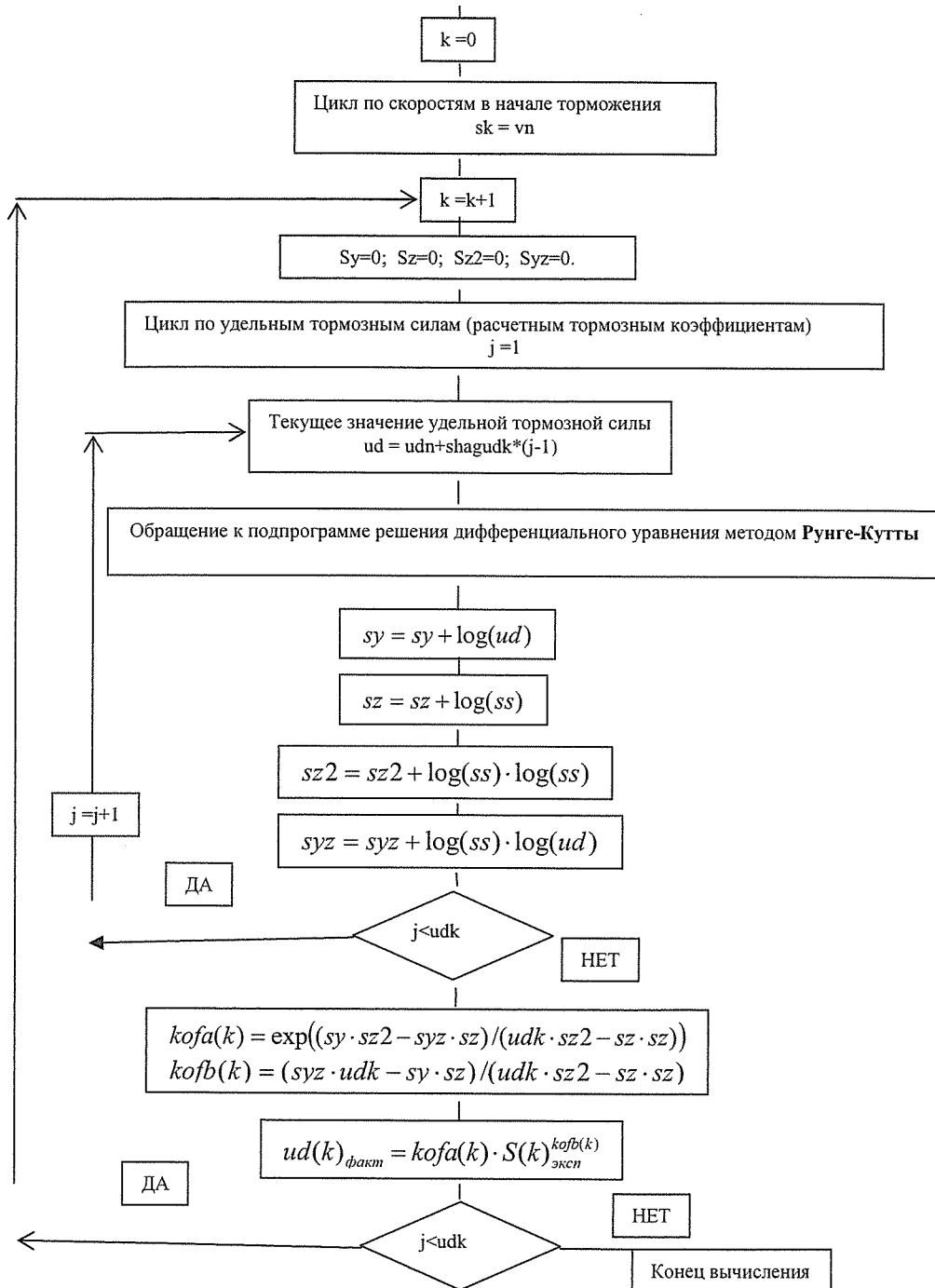


Рис. 1. Блок схема определения фактического значения удельной тормозной силы (расчетного тормозного коэффициента)

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

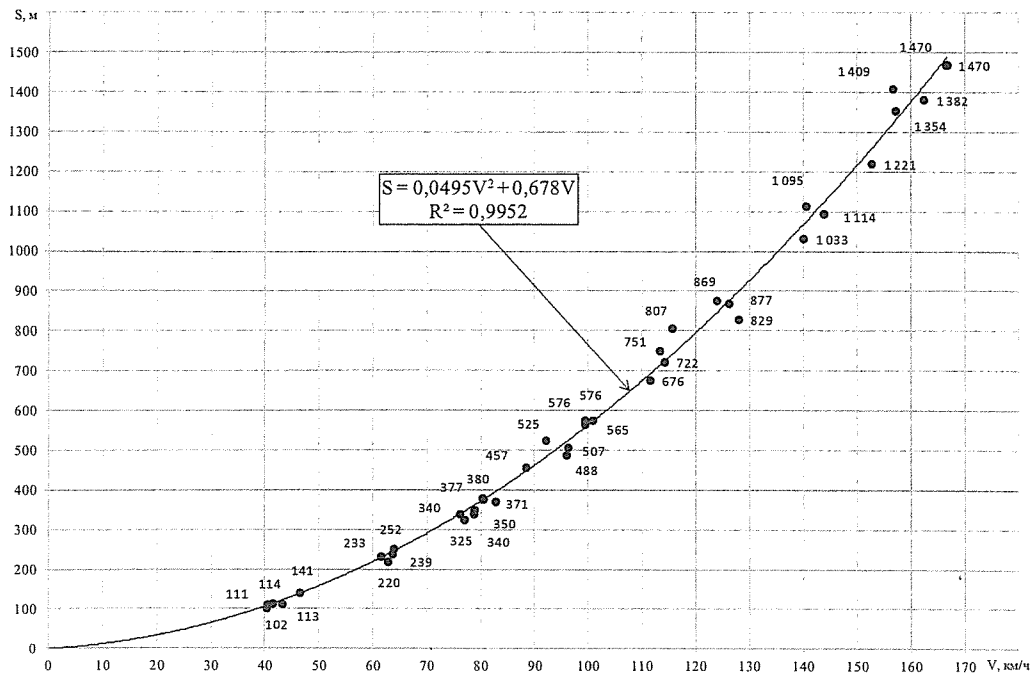


Рис. 2. Результаты измерений тормозного пути пассажирского вагона с дисковым тормозом

Таблица 1. Значения тормозного пути пассажирского вагона с дисковым тормозом, полученные в результате расчета

V, км/ч	Ряд задаваемых значений удельных тормозных сил											
	0,065	0,070	0,075	0,080	0,085	0,090	0,095	0,100	0,105	0,110	0,115	0,120
40	132,8	125,8	119,8	114,4	109,7	105,5	101,7	98,2	95,1	92,3	89,7	87,3
50	197,0	186,2	176,7	168,4	161,1	154,5	148,7	143,4	138,6	134,2	130,1	126,5
60	273,2	257,7	244,2	232,3	221,8	212,5	204,1	196,5	189,6	183,3	177,6	172,3
70	361,4	340,4	322,1	306,0	291,8	279,1	267,8	257,5	248,2	239,7	231,9	224,8
80	461,2	434,0	410,3	389,4	370,9	354,5	339,7	326,3	314,2	303,2	293,1	283,8
90	572,6	538,4	508,6	482,3	459,1	438,3	419,7	402,9	387,7	373,8	361,1	349,4
100	695,4	653,4	616,8	584,6	556,1	530,7	507,8	487,2	468,5	451,4	435,8	421,4
110	829,2	778,8	734,9	696,2	661,9	631,3	603,8	579,0	556,5	535,9	517,1	499,8
120	974,0	914,5	862,5	816,9	776,3	740,1	707,6	678,3	651,6	627,3	605,0	584,6
130	1129,4	1060,1	999,7	946,4	899,2	857,0	819,1	784,9	753,8	725,4	699,4	675,5
140	1295,2	1215,6	1146,0	1084,8	1030,4	981,8	938,2	898,7	862,8	830,1	800,2	772,6
150	1471,2	1380,6	1301,5	1231,7	1169,8	1114,4	1064,6	1019,6	978,7	941,4	907,2	875,8
160	1657,1	1555,0	1465,7	1387,0	1317,1	1254,6	1198,4	1147,5	1101,3	1059,1	1020,5	984,9
170	1852,5	1738,4	1638,6	1550,5	1472,3	1402,3	1339,3	1282,3	1230,5	1183,2	1139,8	1099,9

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

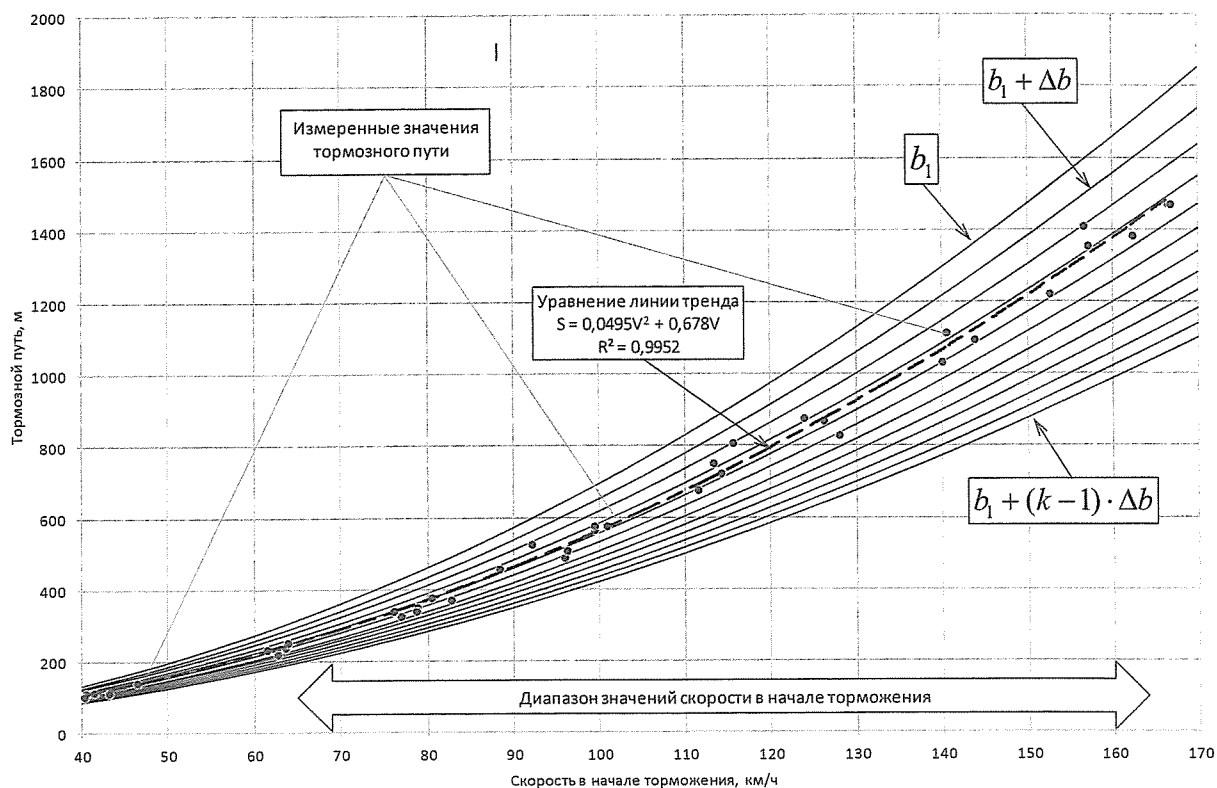


Рис. 3. Тормозные пути пассажирского вагона в диапазонах изменения удельных тормозных сил и скоростей движения

Таблица 2. Результаты расчета фактических значений удельных тормозных сил

V, км/ч	Фактические значения тормозного пути (м), полученные в результате испытаний	Коэффициенты уравнения $b_{\text{факт}} = c(V_0) \cdot S_{\text{эксн}}(V_0)^{d(V_0)}$		Значение удельной тормозной силы
		$c(V_0)$	$d(V_0)$	
1	2	3	4	5
40	106	95,56463	-1,49215	0,0903
50	158	111,4496	-1,40995	0,0887
60	219	128,6335	-1,3533	0,0875
70	290	147,5358	-1,31233	0,0865
80	371	168,3192	-1,2816	0,0857
90	462	191,2984	-1,25807	0,0849
100	563	216,8634	-1,2399	0,0843
110	674	244,9187	-1,22552	0,0836
120	795	275,5394	-1,21397	0,0831
130	925	309,2048	-1,20478	0,0825
140	1066	346,8093	-1,19777	0,0820
150	1216	387,0686	-1,19189	0,0814
160	1377	431,7901	-1,1875	0,0809

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Таблица 3. Тормозные пути вагона

V, км/ч	Фактические значения тормозного пути (м), полученные в результате испытаний	Рассчитанные значения тормозного пути (м)	Погрешность
40	106,39	105,19	1,12%
50	157,76	156,16	1,02%
60	219,03	217,05	0,91%
70	290,22	287,89	0,80%
80	371,31	368,68	0,71%
90	462,31	459,42	0,63%
100	563,22	560,15	0,55%
110	674,04	670,84	0,48%
120	794,77	791,50	0,41%
130	925,41	922,14	0,35%
140	1065,95	1062,80	0,30%
150	1216,40	1213,39	0,25%
160	1376,76	1374,00	0,20%

Выводы

Изложенная методика позволяет определять фактические значения критериальных оценочных величин тормозной эффективности пассажирских вагонов по результатам ходовых тормозных испытаний.

ЛИТЕРАТУРА

1. «Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных)» - ГосНИИВ-ВНИИЖТ, 1996 г.;
2. В.Г. Иноземцев. Нормы и методы расчета автотормозов / Иноземцев В.Г., Гребенюк П.Т. – И-во «Транспорт», Москва, 1971 г., 57 с.;
3. П.Т.Гребенюк. Правила тормозных расчетов / Гребенюк П.Т.– М.: Интекст, 2004 г. - 114 с.;
4. Р.С. Гутер, Овчинский Б.В. Элементы численного анализа и математической обработки результатов опыта / Гутер Р.С., Овчинский Б.В.- «Наука», 1970 г.
5. Э.Н. Львовский. Статистические методы построения эмпирических формул. - Г.: «Высшая школа», 1988 г.