

где  $M_a$  — масса автомобиля.

Таким образом, зная характеристики тормозного крана, полученные расчетным или экспериментальным путем, можно прогнозировать эффективность работы тормозной системы автомобилей, находящихся в эксплуатации.

629.351

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТОРМОЖЕНИЯ АВТОМОБИЛЯ В РАЗЛИЧНЫХ ДОРОЖНЫХ УСЛОВИЯХ

Ст. препод. Р.А. ДАВЛАТШОЕВ

*Проведен анализ торможения автомобиля малого класса ВАЗ 2108 на горизонтальной дороге с максимальным уклоном  $\alpha=10^0$ , допускаемый действующими строительными нормами и правилами (СНиП). Расхождение расчетно-экспериментального метода и результатов дорожных испытаний по основному показателю (установившееся замедление) на горизонтальной дороге и на уклоне не превышает 0,39% и 2,1%, который может быть использован при выборе и обосновании подвижного состава для эксплуатации в горных условиях.*

*The analysis of the economy class cars VAZ 2108 braking on the horizontal road with the maximal bias  $\alpha=10^0$ , according to building regulations of Russian Federation is lead. The toe-out of a settlement-experimental method and results of over-the-road tests on the basic index (steady deceleration) on the horizontal road and bias does not exceed 0,39% and 2,1% which can be used at a choice and a justification of a rolling stock for maintenance in mountain conditions.*

Автомобиль является частью системы «автомобиль—водитель—дорога—среда», и его свойства проявляются во взаимодействии с элементами этой системы. Поэтому значимость определенного эксплуатационного свойства в оценке эффективности применения автомобиля зависит от условий, в которых это свойство проявляется. Для этого проведен анализ торможения автомобиля малого класса ВАЗ-2108 на горизонтальной дороге и с максимальным уклоном  $\alpha = 10^0$  (максимальный уклон дороги допускаемый действующими строительными нормами и правилами (СНиП)). Основной показатель эффективности торможения -установившееся замедление, находим по выражениям (на горизонтальной дороге (а) и на уклоне (б)) [1]:

$$\begin{aligned} a) \quad j_{\text{уст}}^* &= \frac{P_1^* (\sum B_1) + (P_{2\text{уст}} - \Delta p_2) (\sum B_2)}{M_a}; \\ б) \quad j_{\text{уст}}^{**} &= \frac{(P_1^{**} (\sum B_1) + (P_{2\text{уст}} - \Delta p_2) (\sum B_2) - M_a g \sin \alpha)}{M_a}, \end{aligned} \quad (1)$$

где  $P_1^*$ ,  $P_1^{**}$  — давление на грани блокирования колес передней оси (на горизонтальной дороге и на уклоне), (Па);  $P_{2\text{уст}}$  — установившееся давление в приводе задних тормозов, (Па);  $M_a$  — полная масса автомобиля, (кг);  $\sum B_1$ ,  $\sum B_2$  — комплексные параметры тормозных механизмов, ( $\text{м}^2$ ):

$$B_1 = 2F_1 \frac{r_{\text{ш}}}{r_{k1}} k_{\text{ш}1} \eta_1; \quad B_2 = 2F_2 \frac{r_{\text{ш}}}{r_{k2}} k_{\text{ш}2} \eta_2, \quad (2)$$

где  $F_1, F_2$  — площади рабочих цилиндров переднего и заднего тормозных механизмов;  $r_n$  — средний радиус трения переднего тормозного диска;  $r_0$  — радиус барабана заднего тормозного механизма;  $r_{k1}$  и  $r_{k2}$  — радиусы передних и задних колес;  $k_{d1} = \mu$  — коэффициент эффективности дисковых тормозных механизмов;  $k_{d2} = \frac{2\mu}{1-\mu^2}$  — коэффициент эффективности барабанного тормозного механизма с односторонним расположением опор;  $\mu$  — коэффициент трения;  $\eta_1, \eta_2$  — к.п.д. тормозных механизмов (переднего, заднего).

Давление на грани блокирования колес передней оси на горизонтальной дороге (а) и на уклоне (б):

$$\begin{aligned}
 \text{а) } P_1^* &= \frac{G_a \varphi \frac{b}{L} \sum B_1 + \frac{h}{L} k \varphi [P_0 (1 - W_d) - (\Delta p_1 + \Delta p_2)]}{1 - \frac{h}{L} \varphi (1 + k)}; \\
 \text{б) } P_1^{**} &= \frac{G_a \varphi \frac{b}{L} \sum B_1 \cos \alpha + \frac{h}{L} k \varphi [P_0 (1 - W_d) - (\Delta p_1 + \Delta p_2)]}{1 - \frac{h}{L} \varphi (1 + k)}, \quad (3)
 \end{aligned}$$

где  $G_a$  — полный вес автомобиля, (H);  $\varphi$  — коэффициент сцепления шины с дорогой;  $a, b$  — координаты центра масс (ц.м) по горизонтали;  $h$  — координаты ц.м. по высоте;  $P_0$  — давление срабатывания регулятора тормозных сил (РТС);  $\Delta p_1, \Delta p_2$  — давления, необходимые для преодоления усилия стержневых пружин и сил трения тормозных механизмов;  $W_d$  — динамический коэффициент преобразования РТС;  $k = \frac{B_2}{B_1}$  — соотношение комплексных параметров тормозных механизмов по осям.

Установившееся давление в приводе задних тормозов

$$P_2^{\text{scr}} = p_0' (1 - W_d) + P_1^* (W_d). \quad (4)$$

Давления срабатывания РТС определяется по выражению:

$$p_0' = \frac{C_T \gamma_T (\beta_{ct} - \Delta \beta) + P_{np}}{F_3}, \quad (5)$$

где  $P_{np}$  — усилия сжатой пружины РТС;  $C_T$  — жесткость торсиона;  $\beta_{ct}$  — статический угол закрутки торсиона;  $\Delta \beta$  — угол раскрутки торсиона при срабатывании РТС;  $F_3$  — площадь поперечного сечения поршня РТС;  $\gamma_T$  — передаточное число плеч упругого элемента [2].

Так как торсион РТС включен между поддрессоренной и недрессоренной массами автомобиля, то текущее значение угла раскрутки торсиона находим по выражению:

$$\Delta \beta_i = \frac{180 \Delta R_{z2i}^n}{\pi C_{2n} l_T}, \quad (6)$$

где  $\Delta R_{z2i}^n$  — изменение реакция на задней оси автомобиля;  $C_{2n}$  — суммарная жесткость задней подвески;  $l_T$  — длина рычага торсиона.

В таблице 1 приведены сравнительные данные расчета по эффективности торможения на горизонтальной дороге и на уклоне.

Показатели эффективности торможения для двух весовых состояний [3]

$\varphi$	Параметры эффективности торможения			
	$\alpha = 0^\circ$		$\alpha = 10^\circ$	
	$j^A, \text{ м/с}^2$	$j^B, \text{ м/с}^2$	$j^A, \text{ м/с}^2$	$j^B, \text{ м/с}^2$
0,2	1,78	1,98	0,08	0,28
0,27	2	2,17	0,1929	0,51
0,3	2,22	2,4	0,42	0,78
0,4	2,98	3,23	1,21	1,71
0,54	4,16	4,5	2,42	3,13
0,6	4,7	5,08	2,98	<b>3,78</b>

Примечание:  $j^A, j^B$  — установившиеся замедления автомобиля с полной и частичной нагрузками.

Из приведенных данных видно, что установившиеся замедления автомобиля при движении на уклоне с полной нагрузкой при коэффициенте сцепления  $\varphi = 0,6$  снижается на 36,5 %, а с частичной нагрузкой — на 25,5 %. С точки зрения устойчивости движения при торможении снижение давления в приводе задних тормозов идет на запас устойчивости автомобиля, но эффективность торможения снижается. Поэтому система распределения тормозных сил должна учитывать эту особенность с тем, чтобы эффективность не уменьшалась. Это может быть достигнуто за счет электронного управления распределения тормозных сил по осям.

Анализ результатов исследований тормозной динамики автомобиля ВА3-2108 показал, что для определения реальных процессов, протекающих при торможении, параметры автомобиля в целом и его систем должны быть определены экспериментальными или расчетно-экспериментальными методами.

Дорожные испытания были проведены для наиболее характерных участков горных дорог. Выбранная дорога проходит через горные перевалы Анзоб (высота над уровнем моря — 3372 м) и Шахристан (высота над уровнем моря — 3370 м).

Результаты испытаний представлены в таблицах 2 и 3.

Таблица 2

Параметры торможения рабочей тормозной системы на горизонтальной дороге с частичной нагрузкой

№ п/п	Параметры						Примечания
	$S_{\text{ит}}, \text{ м}$	$j_{\text{уср}}, \text{ м/с}^2$	$V_0, \text{ км/ч}$	$t_{\text{сп}}, \text{ с}$	$P_{\text{ит}}, \text{ Н}$	$\Delta l, \text{ м}$	
1.	25,7	3,21	40	0,58	100	0,43	
2.	22,5	3,29	38,2	0,51	110	0,35	
3.	22,9	3,58	39,1	0,59	120	0,36	
4.	22,8	4,08	4,05	0,65	130	0,36	
5.	22,3	4,18	41	0,6	140	0,34	

Окончание таблицы 2

№ п/п	Параметры						Примечания
	$S_m$ , м	$j_{уст}$ , м/с <sup>2</sup>	$V_0$ , км/ч	$t_{ср}$ , с	$P_{п}$ , Н	$\Delta l$ , м	
6.	17,1	4,68	39,7	0,45	160	0,14	блок
7.	15,3	4,98	37,2	0,5	170	0,04	
8.	16,5	<b>5,1</b>	37,9	0,62	200	0,11	

Таблица 3

**Параметры торможения рабочей тормозной системы на уклоне**  
( $\alpha = 10^\circ$ , частичная нагрузка)

№ п/п	Параметры эффективности торможения						Примечания
	$S_m$ , м	$j_{уст}$ , м/с <sup>2</sup>	$V_0$ , км/ч	$t_{ср}$ , с	$P_{п}$ , Н	$\Delta l$ , м	
1.	45,5	1,51	41,5	0,36	100	0,68	блок
2.	40,4	1,59	41,3	0,45	110	0,64	
3.	38,6	1,88	41,2	0,55	120	0,62	
4.	33,1	2,38	41	0,6	130	0,56	
5.	32,7	2,48	40	0,57	140	0,55	
6.	25,6	3,33	39,9	0,65	160	0,43	
7.	24,3	3,55	39,5	0,51	170	0,4	
8.	19,9	<b>3,86</b>	39,3	0,49	200	0,26	

**Примечание:**  $S_m$  — измеренное значение длины тормозного пути;  $j_{уст}$  — установившееся замедление;  $V_0$  — начальная скорость торможения;  $t_{ср}$  — время срабатывания тормозной системы;  $P_{п}$  — усилия нажатия на педаль;  $\Delta l$  — линейное отклонения автомобиля.

Расхождения расчетно-экспериментального метода с дорожными испытаниями находим по выражению

$$\delta^j = \left| \frac{j_m^p - j_m^s}{j_m^s} \right| 100\%.$$

На горизонтальной дороге (а) и на уклоне (б) получили:

$$a) \quad \delta^j = \left| \frac{5,08 - 5,1}{5,1} \right| 100\% = 0,39\%;$$

$$б) \quad \delta^j = \left| \frac{3,78 - 3,86}{3,86} \right| 100\% = 2,1\%.$$

Расхождение расчетно-экспериментального метода и результатов дорожных испытаний по основному показателю (установившееся замедление) на горизонтальной дороге и на уклоне не превышает 0,39 % и 2,1 %. Предлагаемый расчетно-экспериментальный метод может быть использован при выборе и обосновании подвижного состава для эксплуатации в горных условиях.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Турсунов А. А., Давлатшоев Р. А. Теоретический анализ эффективности торможения в горных условиях // *Фундаментальные и прикладные совершенствования поршневых двигателей: Материалы юбилейная X Междунар. науч. практ. конф.*, Владим. гос. ун-т. — Владимир, 2005. — С. 145.
2. Разработка расчетно-экспериментального метода для оценки тормозных свойств автомобилей, находящихся в эксплуатации. Отчет НИР. Владимир, 1998. — 80 с.