

УДК 629.113

В. Н. Кравец, доктор технических наук, профессор, Нижегородский государственный технический университет имени Р. Е. Алексеева

Р. А. Мусарский, доктор технических наук, профессор, Нижегородский государственный технический университет имени Р. Е. Алексеева

ВЛИЯНИЕ МАКРОПРОФИЛЯ ДОРОГИ НА ПОКАЗАТЕЛИ ТЯГОВО-СКОРОСТНЫХ СВОЙСТВ АВТОМОБИЛЯ*

Показано влияние макропрофиля автомобильных дорог общего пользования на показатели тягово-скоростных свойств автомобиля категории N₁.

Ключевые слова: макропрофиль дороги, тягово-скоростные свойства, максимальная скорость, ускорение разгона, время разгона.

Большинство показателей тягово-скоростных свойств автомобилей в соответствии с требованиями нормативных документов [1] определяются при движении на горизонтальных участках дорог. В реальных дорожных условиях автомобиль движется не только по горизонтальным поверхностям, но также на подъемах и спусках различной крутизны. При этом на показатели тягово-скоростных свойств влияют не только тип и состояние опорной поверхности дороги, но также величины продольных уклонов длиной более 25 м, которые характеризуют макропрофиль дорожной поверхности.

Предельные величины продольных уклонов общей сети автомобильных дорог регламентированы Строительными нормами и правилами. Согласно требованиям СНиП 2.05.02–85 [2] наибольшие продольные уклоны дорог общего пользования в зависимости от категории составляют 3...7 %. Для трудных участков дорог в пересеченной и горной местности разрешается увеличение продольных уклонов до 6...10 %. Более детальный анализ макропрофилей дорог общетранспортного назначения дан в работе [3]. В связи с этим представляет несомненный интерес исследование влияния макропрофиля автомобильных дорог на показатели тягово-скоростных свойств современных автомобилей.

В качестве объекта исследования выбран легкий коммерческий грузовой автомобиль, относящийся к транспортным средствам категории N₁, со следующими конструктивными параметрами:

полная масса $m_a = 3500$ кг, в том числе на переднюю ось 1250 кг, на заднюю ось 2250 кг;

двигатель дизельный с турбонаддувом, максимальная мощность $P_{e\max} = 90$ кВт при частоте вращения вала $n_{eP} = 3200$ об/мин, максимальный кру-

тящий момент $T_{e\max} = 289$ Н·м при $n_{eT} = 2400$ об/мин;

коробка передач механическая пятиступенчатая с передаточными числами $u_{кI} = 4,05$; $u_{кII} = 2,34$; $u_{кIII} = 1,395$; $u_{кIV} = 1,00$; $u_{кV} = 0,849$;

главная передача одинарная гипоидная с передаточным числом $u_0 = 4,556$;

шины 185/75R16С, статический радиус колес $r_{ст} = 0,33$ м;

коэффициент полезного действия трансмиссии $\eta_{тр} = 0,93$;

аэродинамические характеристики: коэффициент лобового сопротивления $c_x = 0,6$; площадь миделя $A_B = 3,6$ м²; фактор обтекаемости $W = 1,32$ Н·с²/м².

Характеристики дорожных условий: коэффициент сопротивления качению при скорости, близкой к нулю, $f_0 = 0,012$; коэффициент, учитывающий влияние скорости, $k_f = 0,0003$ с/м; продольные уклоны $i = -0,04...+0,08$.

Проанализировано влияние макропрофиля дороги на следующие показатели тягово-скоростных свойств автомобиля: 1) максимальная скорость $V_{a\max}$; 2) время разгона t_V до скорости 60 км/ч; 3) ускорение разгона a_a ; 4) сила тяги на крюке $F_{кр}$.

Определение названных показателей производилось графическим методом [4]. Были рассчитаны и построены графики силового баланса, ускорений разгона и времени разгона.

Для построения графика силового баланса выполнены расчет скорости движения автомобиля, тяговой силы на ведущих колесах и сил сопротивления движению по следующим формулам:

– скорость автомобиля, км/ч:

$$V_a = \frac{0,377n_e r_k}{u_k u_0}, \quad (1)$$

где n_e – частота вращения вала двигателя, об/мин;
 r_k – радиус качения колес, м; u_k и u_0 – передаточные числа коробки передач и главной передачи соответственно;

– полная тяговая сила на ведущих колесах, Н:

$$F_{T0} = \frac{k_c T_e^c u_k u_0 \eta_{тр}}{r_d},$$

где k_c – коэффициент коррекции стендовой характеристики двигателя; T_e^c – стендовый крутящий момент двигателя, Н·м; $\eta_{тр}$ – КПД трансмиссии; r_d – динамический радиус колес, м;

– сила сопротивления дороги, Н:

$$F_{\psi} = \psi m_a g, \quad (2)$$

где ψ – коэффициент сопротивления дороги; m_a – масса автомобиля, кг; g – ускорение свободного падения, м/с²;

– сила сопротивления воздуха, Н:

$$F_b = \frac{W V_a^2}{12,96}, \quad (3)$$

где W – фактор обтекаемости, Н·с²/м²; V_a – скорость автомобиля, км/ч.

В формулах (1)–(3) динамический радиус колес равен статическому радиусу $r_d = r_{ст}$, а радиус качения колес $r_k = 1,04r_d$, частота вращения вала двигателя $n_{e\min} = 1000$ об/мин, $n_{e\max} = 3500$ об/мин; коэффициент коррекции $k_c = 0,95$ [5]. Коэффициент сопротивления дороги в формуле (2):

$$\psi = (f_0 + k_f V_a / 3,6) \cos \alpha \pm \sin \alpha, \quad (4)$$

где угол продольного уклона дороги:

$$\alpha = \arctg i. \quad (5)$$

По графику силового баланса, построенному при заданных уклонах дороги, в точках пересечения кривых $F_{T0} = f(V_a)$ и $(F_{\psi} + F_b) = f(V_a)$ были найдены величины максимальных скоростей движения $V_{a\max}$ и построена зависимость $V_{a\max} = f(i)$, показанная на рис. 1.

По значениям сил F_{T0} , F_b и F_{ψ} при одних и тех же скоростях движения V_a рассчитаны ускорения разгона на всех передачах:

$$a_a = \frac{F_{T0} + F_b + F_{\psi}}{\delta m_a}. \quad (6)$$

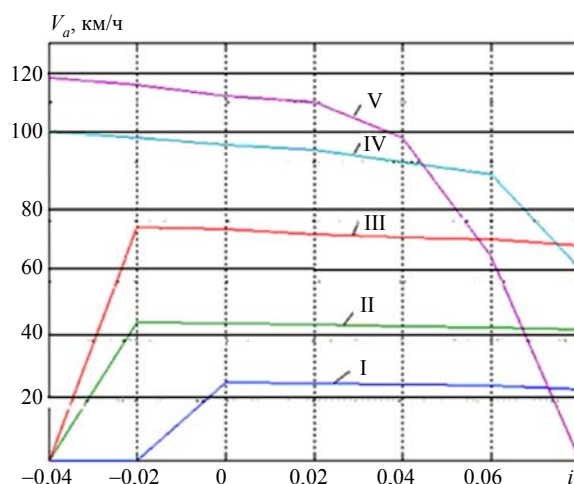


Рис. 1. Зависимость максимальной скорости движения на разных передачах (I, II, III, IV, V) от уклона дороги

Входящий в формулу (6) коэффициент учета вращающихся масс рассчитывают по приближенной формуле

$$\delta = 1 + \sigma_1 u_k^2 + \sigma_2, \quad (7)$$

где $\sigma_1 = 0,04$; $\sigma_2 = 0,05$ [4].

На рис. 2 приведены максимальные ускорения разгона при различных значениях уклона дороги.

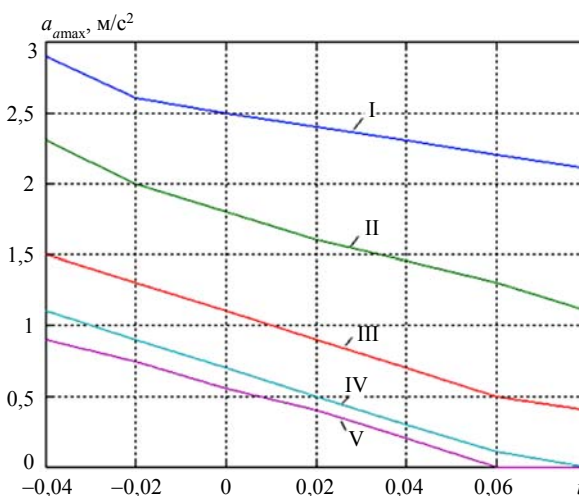


Рис. 2. Зависимость максимальных ускорений от уклона дороги на разных передачах

С использованием графиков ускорений выполнен расчет времени разгона с последовательным переключением передач:

$$t = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n \Delta t_i + \sum_{j=1}^{m-1} t_{пj}, \quad (8)$$

где Δt_i – время разгона в i -м интервале изменения скорости на j -й передаче коробки передач; n – число интервалов; m – число передач; $t_{пj}$ – время переключения с одной передачи на другую, равное 1 сек. [4].

По графикам времени разгона, построенным при различных значениях уклона дороги (рис. 3), были определены значения времени разгона до скорости 60 км/ч.

По графику силового баланса определены значения максимальной тяговой силы на крюке при установившемся ($V_a = \text{const}$) движении автомобиля:

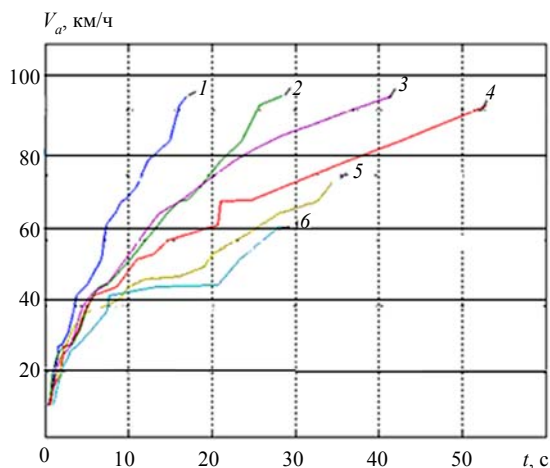


Рис. 3. Зависимость скорости движения от времени разгона автомобиля: 1 – $i = -0,06$; 2 – $i = 0$; 3 – $i = +0,02$; 4 – $i = +0,04$; 5 – $i = +0,06$; 6 – $i = +0,08$

Выводы

1. При движении на максимальном подъеме $i = +0,08$ и максимальном спуске $i = -0,04$ на V передаче максимальная скорость уменьшается до 0 км/ч и возрастает до 118 км/ч по сравнению со скоростью 110 км/ч на горизонтальной дороге соответственно. При движении на I...IV передачах максимальная скорость меньше, чем на V передаче.

2. Ускорение разгона на подъеме и спуске зависит от величины уклона и включенной передачи. На наиболее используемой IV (прямой) передаче ускорение на подъеме $i = +0,08$ уменьшается до нуля, а на спуске $i = -0,04$ возрастает до $1,1 \text{ м/с}^2$ по сравнению с ускорением на горизонтальной дороге, равным $0,67 \text{ м/с}^2$. На V (повышающей) передаче движение автомобиля возможно на подъемах до $i = +0,06$.

3. Величина продольного уклона дороги оказывает значительное влияние на время разгона автомобиля до скорости 60 км/ч. Так, при движении по горизонтальной дороге оно равно 12,3 с, на подъеме $i = +0,08$ равно 30 с, на спуске $i = -0,06$ равно 7 с, что, соответственно, в 2,5 раза больше и в 1,8 раза меньше, чем на горизонтальной дороге.

$$F_{кр} = F_{T0} - F_{\psi} - F_B. \quad (9)$$

На рис. 4 показана зависимость максимальных значений тяговой силы на крюке от уклона дороги на всех передачах.

Все расчеты выполнены на программном языке MATLAB.

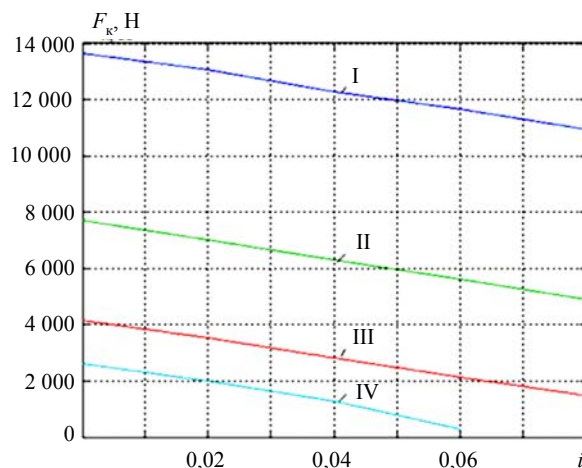


Рис. 4. Зависимость максимальной силы на крюке от уклона дороги

4. Автомобиль обладает возможностью буксировать прицепы на I, II, III и IV передачах и не имеет возможности буксировки на V (повышающей) передаче.

5. Выполненные исследования являются основой для совершенствования конструкции легкого коммерческого автомобиля с целью повышения показателей его тягово-скоростных свойств.

Библиографические ссылки

- ГОСТ 22576–90. Автотранспортные средства. Скоростные свойства. Методы испытаний. – Введен 1992–01–01. – М. : Госкомитет СССР по управлению качеством продукции и стандартам : Изд-во стандартов, 1991.
- СНиП 2.05.02–85. Строительные нормы и правила. Автомобильные дороги. – Введен 1987–01–01. – М. : Госстрой СССР, 1986.
- Мусарский Р. А. Структурный и фрактальный анализы макропрофилей дорог // Автомобильная промышленность. – 2014. – № 2. – С. 21–23.
- Кравец В. Н., Селифонов В. В. Теория автомобиля. – М. : Гринлайт+, 2011. – 884 с.
- ГОСТ 14846–81. Двигатели автомобильные. Методы стендовых испытаний. – Введен 1982–01–01. – М. : Госкомитет СССР по стандартам : Изд-во стандартов, 2003.

V. N. Kravets, DSc in Engineering, Professor, Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R. E. Alekseev
R. A. Musarsky, DSc in Engineering, Professor, Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R. E. Alekseev

Effect of Influence of Public Road Macro Profile on Traction-Speed Performance of the Vehicle

The paper shows the influence of public road macro profile on the traction-speed performance of N_1 category vehicle.

Keywords: public road macro profile, traction-speed properties, maximum speed, speedup acceleration, speedup time.

Получено 24.03.14