

УДК 629.113

В.Н. Кравец, Р.А. Мусарский

ВЛИЯНИЕ МАКРОПРОФИЛЯ ДОРОГИ НА РАСХОД ТОПЛИВА ГРУЗОВОГО АВТОМОБИЛЯ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Представлена методика определения показателей топливной экономичности автомобилей на дорогах с переменным продольным профилем.

Ключевые слова: топливная экономичность автомобилей, макропрофиль дороги.

Методики определения показателей топливной экономичности автомобилей, содержащиеся в нормативных документах [1,2], предусматривают проведение дорожных испытаний на горизонтальных участках дорог. В действительных условиях эксплуатации автомобилей выполняют транспортную работу на дорогах с переменным продольным профилем, содержащим не только горизонтальные участки, но подъёмы и спуски различной протяжённости и крутизны.

Для оценки расхода топлива на дорогах с различными величинами коэффициентов сопротивления академик Чудаков Е.А. ввёл в теорию автомобиля понятие о топливной характеристике автомобиля [3], которую в современной научной литературе называют топливно-экономической характеристикой [4]. Топливо-экономическая характеристика установившегося движения автомобиля представляет зависимость путевого расхода Q_S от скорости установившегося движения ($V=\text{const}$) на дорогах с различными коэффициентами сопротивления ψ .

Путевой расход топлива (л / 100 км) рассчитывают по формуле

$$Q_S = \frac{g_D(P_\psi + P_S)}{36\rho_t k_c \eta_{тр}}, \quad (1)$$

где g_D – удельный расход топлива двигателя, г/(кВт·ч); P_ψ и P_S – мощность сопротивления дороги и воздуха соответственно, кВт; V – скорость автомобиля, м/с; ρ_t – плотность топлива, кг/л; k_c – коэффициент коррекции стендовой характеристики двигателя; $\eta_{тр}$ – КПД трансмиссии.

Входящие в формулу (1) параметры рассчитывают по известным в теории автомобиля выражениям:

- удельный расход топлива двигателя (г/(кВт·ч)):

$$g_D = g_{ep} k_E k_H, \quad (2)$$

где g_{ep} – удельный эффективный расход топлива двигателя по внешней скоростной характеристике при максимальной мощности, г/(кВт·ч); k_E и k_H – коэффициенты, учитывающие степень использования угловой скорости (частоты вращения) вала и мощности двигателя соответственно.

Поправочные коэффициенты в формуле (2) рассчитаны по аналитическим зависимостям, предложенным Гришкевичем А.И. [5] и Песковым В.И. [6]:

$$k_E = 1.25 - 0.99E + 0.98E^2 - 0.24E^3; \quad (3)$$

$$k_H = 3,52 - 17,24H + 44,85H^2 - 55,28H^3 + 31,23H^4 - 6,08H^5, \quad (4)$$

где k_E и k_H – степень использования угловой скорости (частоты вращения) и мощности двигателя соответственно;

- мощности сопротивления дороги и воздуха (кВт):

$$P_{\psi} = \frac{\psi m_a g V}{1000}; \quad (5)$$

$$P_g = \frac{WV^3}{1000}; \quad (6)$$

где ψ – коэффициент сопротивления дороги; m_a – масса автомобиля, кг; g – ускорение свободного падения, м/с²; W – фактор обтекаемости, Н·с²/м²; V – скорость автомобиля, м/с; – скорость автомобиля (м/с):

$$V = \frac{0.105 n_e r_k}{u_k u_0}, \quad (7)$$

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

Коэффициент сопротивления дороги в формуле (5)

$$\psi = f \cos \alpha \pm \sin \alpha, \quad (8)$$

где f – коэффициент сопротивления качению; α – угол продольного уклона дороги, рад или град.

Угол определяют по принятому в дорожной технике продольному уклону i

$$\alpha = \arctg i, \quad (9)$$

В теории автомобиля под макропрофилем дороги понимают неровности длиной 25 м и более. Такие неровности называют уклонами, которые состоят из подъёмов и спусков. Из формул (1),(5),(8) и (9) следует, что макропрофиль дороги оказывает влияние на путевой расход топлива.

Детальный анализ макропрофилей дорог общетранспортного назначения приведён в работе [7]. В данной статье были приняты наибольшие продольные уклоны дорог общего пользования, которые в зависимости от категории составляют, согласно требованиям СНиП 2.05.02 – 85 [8], от 3 до 7 %.

Расчёт топливно-экономической характеристики был выполнен для легкого коммерческого грузового автомобиля, который относится к транспортным средствам категории N_1 , конструктивные параметры которого близки к параметрам автомобиля ГАЗель Next:

- 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 крутящий 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 гипoidная с передаточным числом $u_0 = 4,556$;
- шины 185/75R16С, статический радиус колёс $r_{cr} = 0,33$ 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.

На основании статистических данных для дизельного двигателя удельный расход топлива при максимальной мощности $g_{ep} = 200$ г/(кВт·ч), плотность дизельного топлива $\rho_T = 0,82$ кг/л [4].

Характеристики дорог: коэффициент сопротивления качению $f = 0,012$, продольные уклоны $i = \pm(0,03...0,07)$.

График топливно-экономической характеристики автомобиля на IV (прямой) передаче приведён на рис. 1 Он позволяет выявить влияние величин продольных уклонов на путевой расход топлива.

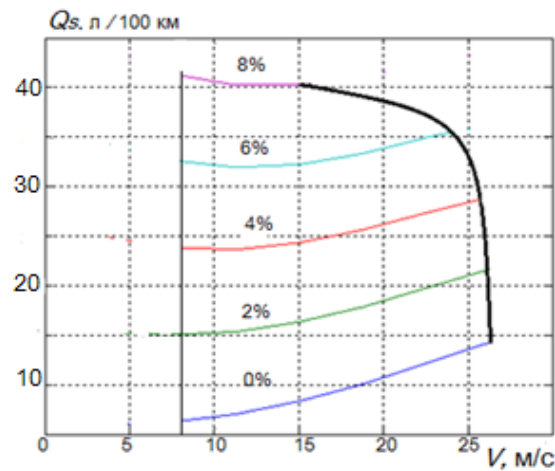


Рис. 1. Топливо-экономическая характеристика исследуемого автомобиля на IV (прямой) передаче трансмиссии

Топливо-экономическая характеристика была использована для определения расхода топлива на заданном маршруте по методике, изложенной в работе [4]. Методика предусматривает использование динамической характеристики автомобиля и характеристики маршрута его движения. Динамическая характеристика, представляющая зависимость динамического фактора от скорости движения на всех передачах трансмиссии $D=f(V)$, была рассчитана и построена по формулам [4] и приведена на рис. 2.

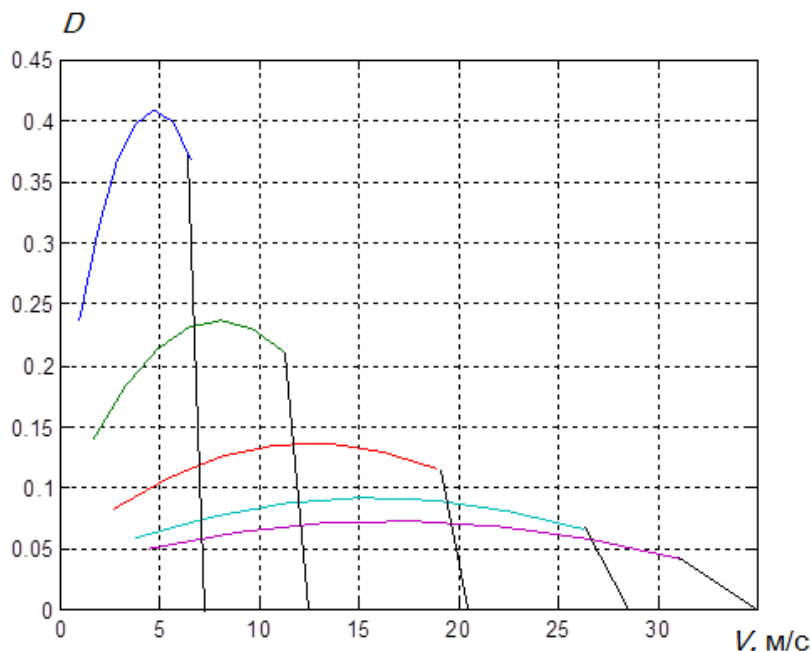


Рис. 2. Динамическая характеристика исследуемого автомобиля

Характеристика маршрута движения представляет совокупность участков дороги, имеющих на всей длине S_i неизменный коэффициент сопротивления дороги ψ_i . Для исследуемого маршрута Нижний Новгород – Павлово его характеристика (рис. 3) построена путём обработки спутниковой информации по методике, изложенной в [7].

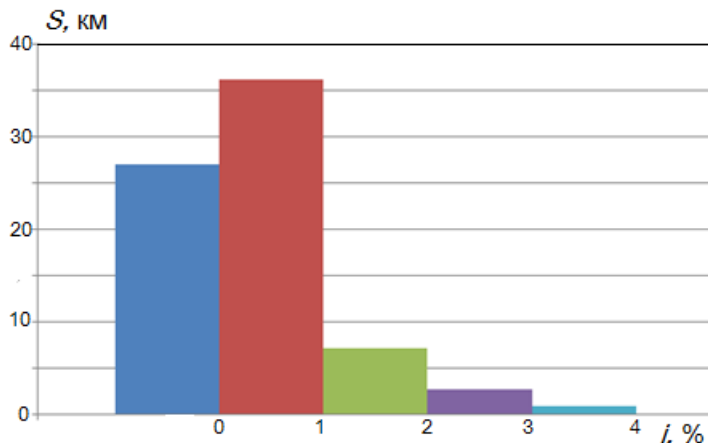


Рис. 3. Характеристика маршрута Нижний Новгород – Павлово

Графоаналитическое определение расхода топлива выполнено с использованием графика (рис. 4), на котором топливно-экономическая характеристика $Q_s = f(V, \psi)$ расположена в правом нижнем квадранте, динамическая характеристика $D = f(V)$ – в правом верхнем квадранте и характеристика маршрута $\psi = f(S)$ – в верхнем левом квадранте. Расчёт выполнен при допущении о том, что на каждом участке дороги с постоянным коэффициентом сопротивления автомобиль движется с максимально возможной скоростью $V_{\max i}$.

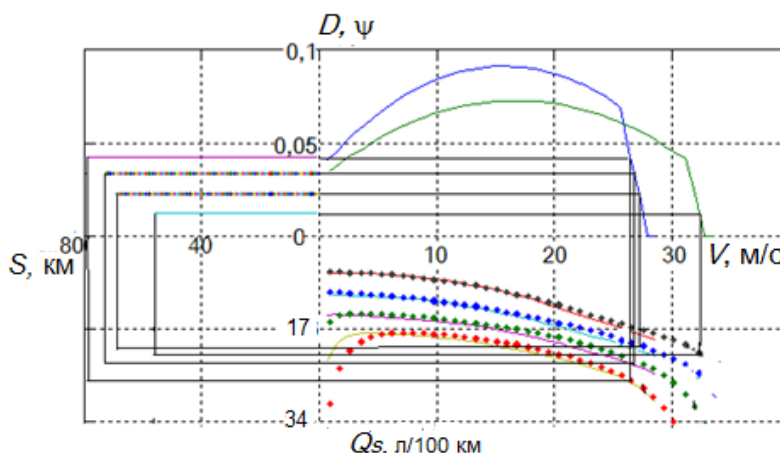


Рис. 4. Схема определения расхода топлива на маршруте Нижний Новгород – Павлово

При каждом заданном значении коэффициента сопротивления дороги ψ_i по графику динамической характеристики определяют максимальную скорость движения $V_{\max i}$, и при этой скорости по графику топливно-экономической характеристики вычисляют путевой расход топлива Q_{Si} . Площади в левом нижнем квадранте в соответствующем масштабе эквивалентны затратам топлива на каждом участке маршрута (л):

$$Q_i = \frac{Q_{Si} S_i}{100}, \quad (10)$$

где Q_{Si} – путевой расход топлива на i -м участке маршрута, л/100 км; S_i – протяжённость i -го участка маршрута, км.

Общий расход топлива на маршруте равен сумме расходов топлива на каждом участке маршрута:

$$Q = \sum_{i=1}^n Q_{Si}, \quad (11)$$

где n – количество участков маршрута.

Расчёты с использованием рис. 4 показали, что общий расход топлива на маршруте Нижний Новгород – Павлово протяжённостью 78 км составил 5,5 л. Расход топлива учитывался только при движении автомобиля на горизонтальных участках и на подъёмах.

Библиографический список

1. ГОСТ Р 54810 – 2011. Автомобильные транспортные средства. Топливная экономичность. Методы испытаний. – М.: Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии: Стандартинформ, 2012.
2. **Кравец, В.Н.** Измерители эксплуатационных свойств автотранспортных средств: учеб. пособие / В. Н. Кравец; НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – Нижний Новгород, 2014. – 157 с.
3. **Чудаков, Е.А.** Избранные труды. Т. 1. Теория автомобиля / Е.А. Чудаков. – М.: Изд-во АН СССР, 1961. – 464 с.
4. **Кравец, В.Н.** Теория автомобиля: учебник для вузов / В.Н. Кравец, В.В. Селифонов. – М.: ООО «Гринлайт+», 2011. – 884 с.
5. **Гришкевич, А.И.** Автомобили: теория / А.И. Гришкевич. – Минск: Вышэйш. шк., 1986. – 208 с.
6. **Песков, В. И.** Совершенствование эксплуатационных качеств автомобиля / В.И. Песков, В.И. Сердюк, А.Е. Сердюк; НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – Нижний Новгород, 2009. – 135 с.
7. **Мусарский, Р.А.** Структурный и фрактальный анализ макропрофилей дорог // Автомобильная промышленность. 2014. №2. С. 21–23.
8. СНиП 2.05.02–85. Строительные нормы и правила. Автомобильные дороги. – Введ. 1987–01–01. – М.: Госстрой СССР, 1986.

*Дата поступления
в редакцию 20.09.2014*

V.N. Kravets, R.A. Musarsky

INFLUENCE MACRO PROFILE OF THE ROAD ON FUEL CONSUMPTION OF TRUCK

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev

The article presents a method of determining the fuel economy of cars on the roads with a variable longitudinal profile.

Key words: fuel economy car, macro profile of the road.