

УДК 629.113

С. И. КРИВОШАПОВ, канд. техн. наук, доц. ХНАДУ, Харьков;

Ю. В. ГОРБИК, канд. техн. наук, доц. ХНАДУ

ВЛИЯНИЕ НАГРУЗОЧНОГО РЕЖИМА ДВИЖЕНИЯ НА РАСХОД ТОПЛИВА АВТОМОБИЛЯ

Предложена математическая модель определения расхода топлива через режим нагружения и скорость движения автомобиля. Приведен алгоритм и результаты расчета расхода топлива на дороге и на стенде с беговыми барабанами при различных нагружениях. Приведены результаты экспериментальных исследований оценки топливной экономичности автомобиля от нагрузки на колесах автомобиля.

Ключевые слова: автомобиль, расход топлива, стенд с беговыми барабанами, режим нагрузки, скоростной режим, КПД.

Введение. В процессе проектирования в конструкцию автомобиля закладываются определенные качества, которые будут реализованы при изготовлении, а проявлены при эксплуатации машины. Наряду с общими конструктивными характеристиками в новый автомобиль закладываются и эксплуатационные параметры. Одним из основных эксплуатационных характеристик является расход топлива.

Топливная экономичность зависит от ряда факторов основные из которых: конструктивные особенности и характеристики автомобиля; эксплуатационные параметры движения автомобиля; техническое состояние транспортного средства; режим движения и классность водителя. Для автомобилей поступающих в эксплуатацию уменьшить расход топлива можно за счет выбора оптимального режима движения автомобиля. Но для этого необходимо установить аналитическую и экспериментальную взаимосвязь расхода топлива от нагрузочно-скоростного режима движения автомобиля.

Анализ последних достижений и публикаций. Теоретические основы математического моделирования эксплуатационных свойств автомобиля заложены академиком Чудоквым Евгением Алексеевичем в первой половине прошлого века. Им была предложена зависимость определения путевого расхода топлива через удельный индикаторный расход топлива и мощность автомобиля. Принципы оценки топливной экономичности автомобиля в реальных условиях эксплуатации заложены профессором Говорущенко Н.Я. [1]. Дальнейшее развитие методики расчета расхода топлива через различные показатели отражены в последующих работах: по удельным показателям [2], через коэффициенты полезного действия силовых агрегатов автомобиля [3], через неравномерность движения автомобиля на дороге [4], по изменению индикаторного расхода топлива [5]. Практическая реализация новой методики оценки и диагностирования автомобиля по расходу топлива приведена в работах [5] и [6]. В работах [6] и [7] рассмотрены особенности оценки топливной экономичности при стендовых испытаниях на стенде с беговыми барабанами. В работах [2-7] расход топлива определялся через скорость движения автомобиля по дороге или на стенде с беговыми барабанами. Влияние других эксплуатационных параметров в явном виде в этих работах не рассматривалось.

© С. И. Кривошапов, Ю. В. Горбик, 2012

Цель и постановка задачи. Целью настоящей работы является получение математической зависимости определения расхода топлива через нагрузку на колеса автомобиля. Сравнить значения расхода топлива, полученные математическим моделированием, с экспериментальными результатами при стендовых испытаниях автомобиля.

Математическая модель и алгоритм решения задачи.

Путевой расход топлива в л/100 км рассчитывается по следующей зависимости

$$Q = \frac{100 \cdot Q_1}{V_a \cdot \rho_t}, \quad (1)$$

где Q_1 - часовой расход топлива, кг/ч; V_a - скорость движения автомобиля, км/ч; ρ_t - плотность топлива, кг/л.

Часовой расход топлива определяется через индикаторные или эффективные параметры двигателя:

$$Q_1 = g_e \cdot N_e, \quad (2)$$

где g_e - удельный эффективный расход топлива, кг/кВт; N_e - эффективная мощность двигателя, кВт.

Удельный эффективный расход топлива в г/кВт связан с эффективным КПД двигателя:

$$g_e = \frac{3600}{H_n \cdot \eta_e}, \quad (3)$$

где H_n - низшая теплота сгорания, кг/кДж; η_e - эффективный КПД двигателя.

Эффективный КПД двигателя – составной показатель, который учитывает индикаторные и механические потери в двигателе:

$$\eta_e = \eta_i \cdot \eta_m, \quad (4)$$

где η_i - индикаторный КПД двигателя; η_m - механический КПД двигателя.

Эффективная мощность двигателя связана с мощностью на колесах автомобиля

$$N_e = N_k / \eta_{mp}, \quad (5)$$

где N_k - мощность, подведенная к колесам автомобиля, кВт; η_{mp} - коэффициент полезного действия трансмиссии.

С учетом зависимостей (2 - 5) путевой расход топлива определяется по формуле

$$Q = \frac{360 \cdot N_k}{V_a \cdot \rho_t \cdot H_n \cdot \eta_i \cdot \eta_m \cdot \eta_{mp}}. \quad (6)$$

При «движении» автомобиля на стенде с беговыми барабанами удобно создавать и измерять нагрузку на роликах стенда. Тогда расход топлива автомобиля определяется на стенде с беговыми барабанами с учетом потерь в колесах автомобиля по формуле

$$Q = \frac{360 \cdot N_{\bar{o}}}{V_a \cdot \rho_t \cdot H_n \cdot \eta_i \cdot \eta_m \cdot \eta_{mp} \cdot \eta_k}. \quad (7)$$

где η_k - КПД колеса, $N_{\bar{o}}$ - мощность на беговых барабанах, кВт. $N_{\bar{o}} = N_k / \eta_k$.

Произведение 4-х КПД: индикаторного и механического КПД двигателя, КПД трансмиссии и колес, можно выразить через коэффициент полезного действия автомобиля, т.е. $\eta_a = \eta_i \cdot \eta_m \cdot \eta_{mp} \cdot \eta_k$. Тогда формулу (7) можно записать следующим образом

$$Q = \frac{360 \cdot N_{\bar{o}}}{V_a \cdot \rho_t \cdot H_n \cdot \eta_a}. \quad (7)$$

В работе [8] приведены расчетные зависимости для определения индикаторного и механического КПД двигателя и КПД трансмиссии и колес, а также зависимость определения общего КПД автомобиля.

В таблице 1 представлены значения КПД автомобиля и составляющих, рассчитанные для автомобиля ВАЗ-2107 при движении по дороге.

Значение силы на колесах автомобиля рассчитывалось по формуле

$$P_k = G_a \cdot \psi + 0.077 \cdot kF \cdot V_a^2, \quad (8)$$

где G_a - вес автомобиля, Н; ψ - коэффициент суммарного дорожного сопротивления; kF - фактор обтекаемости, $\text{Н} \cdot \text{с}^2 / \text{м}^2$.

Значение ψ и kF рассчитывались следующим формулам

$$\psi = \frac{0.01 \cdot V_{max} \cdot K_2}{V_a}; \quad kF = k \cdot \alpha_t \cdot B_a \cdot H_a, \quad (9)$$

где V_{max} - максимальная скорость автомобиля, км/ч; K_2 - коэффициент загрузки; k - коэффициент сопротивления воздуха, $\text{Н} \cdot \text{с}^2 / \text{м}^4$; α_t - коэффициент заполнения лобовой площади; B_a - ширина автомобиля, м; H_a - высота автомобиля, м.

Зная силу подведенную к колесам автомобиля можно рассчитать мощность на колесах автомобиля в Вт:

$$N_k = \frac{P_k \cdot V_a}{3.6}. \quad (10)$$

Окончательно мощность подведенная к колесам автомобиля в кВт:

$$N_k = 2.78 \cdot 10^{-4} \cdot (G_a \cdot 0.01 \cdot K_z \cdot V_{max} + 0.077 \cdot k \cdot \alpha_t \cdot B_a \cdot H_a \cdot V_a^3). \quad (11)$$

Значения силы и мощности на колесах автомобиля, полученные по формулам (8) и (11), сведены в таблицу. В последнем столбце таблицы приведены расчетные значения расхода топлива для автомобиля ВАЗ-2107 при движении по дороге в порожнем состоянии.

Таблица – Результаты расчета расхода топлива автомобиля ВАЗ-2107

V_a , км/ч	η_i	η_m	η_e	η_{mp}	η_k	η_a	P_k , Н	N_k , кВт	Q , л/100 км
25	0,300	0,380	0,114	0,910	0,480	0,050	261,95	1.819	11,24
35	0,304	0,460	0,140	0,870	0,517	0,063	299,30	2.910	9,04
60	0,311	0,569	0,177	0,770	0,660	0,090	372,27	6.211	6,3
90	0,320	0,728	0,233	0,730	0,452	0,077	473,83	11.846	7,38
120	0,330	0,788	0,260	0,737	0,292	0,056	671,24	22.375	10,2
150	0,340	0,783	0,266	0,757	0,228	0,046	836,70	34.862	12,26

В расчетах расхода топлива, мощности на колесах и КПД автомобиля использовались следующие исходные данные для автомобиля ВАЗ-2107: $G_a=10400$ Н; $V_{max}=150$ км/ч; $\alpha_t=0.85$; $k=0.36$ Н·с²/м⁴; $B_a=1.6$ м; $H_a=1.4$ м; $\rho_t=0.76$ г/см³; $H_n=44000$ кДж/кг. При подстановки исходных данных в зависимости (6), (8) и (11), применительно к автомобилю ВАЗ-2107, получим следующие упрощенные формулы: формулы расчета силы и мощности на колесах автомобиля, а также расхода примет следующий вид:

- силы на колесах автомобиля P_k , Н:

$$P_k = \frac{5720}{V_a} + 0.052 \cdot V_a^2; \quad (12)$$

- мощности подведенной к колесам автомобиля N_k , кВт:

$$N_k = 1.59 + 1.4 \cdot 10^{-5} \cdot V_a^3; \quad (13)$$

- линейный расход топлива Q , л/100 км:

$$Q = \frac{0.0108 \cdot N_k}{V_a \cdot \eta_i \cdot \eta_m \cdot \eta_{mp}}. \quad (14)$$

По полученным расчетным данным была построена графическая зависимость изменения расхода топлива от нагрузки на колесах автомобиля. Полученные результаты представлены в графическом виде на рисунке 1.

Как видно из графика нагрузка на колесах автомобиля неоднозначно влияет на расход топлива. В диапазоне мощности подведенной к колесам автомобиля от 1 кВт до 6 кВт расход топлива снижается с увеличением нагрузки на колесах автомобиля. При увеличении мощности на колесах от 6 кВт и выше расход топлива возрастает практически линейно. Для автомобиля ВАЗ-2107 минимальный расход топлива соответствует нагрузке на колесах равное 6 кВт.

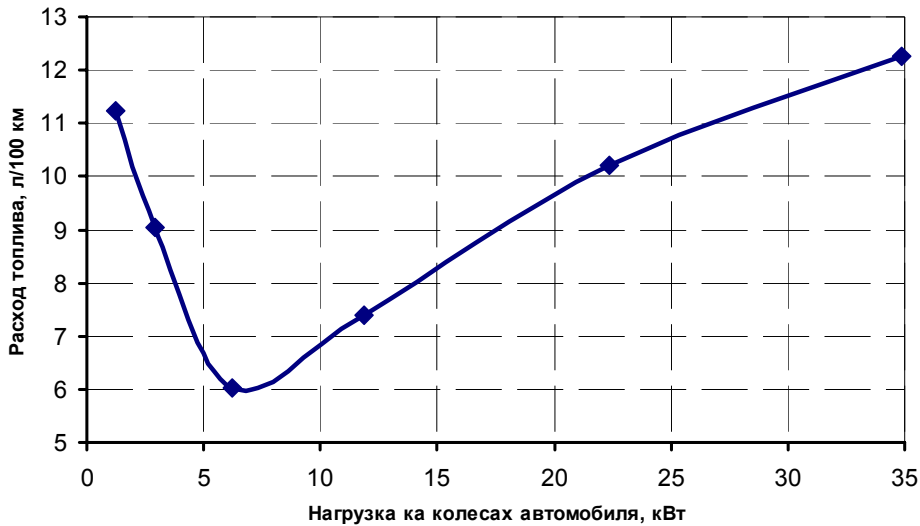


Рисунок 1 – Теоретическая зависимость линейного расхода топлива от мощности на колесах для автомобиля ВАЗ-2107

На рисунке 2 приведены для сравнения экспериментальные зависимости влияния нагрузки на колесах автомобиля, полученных при стендовых испытаниях на беговых барабанах. Диапазон изменения нагрузки (от 7 до 20 кВт) определялся техническими возможностями стенда с беговыми барабанами

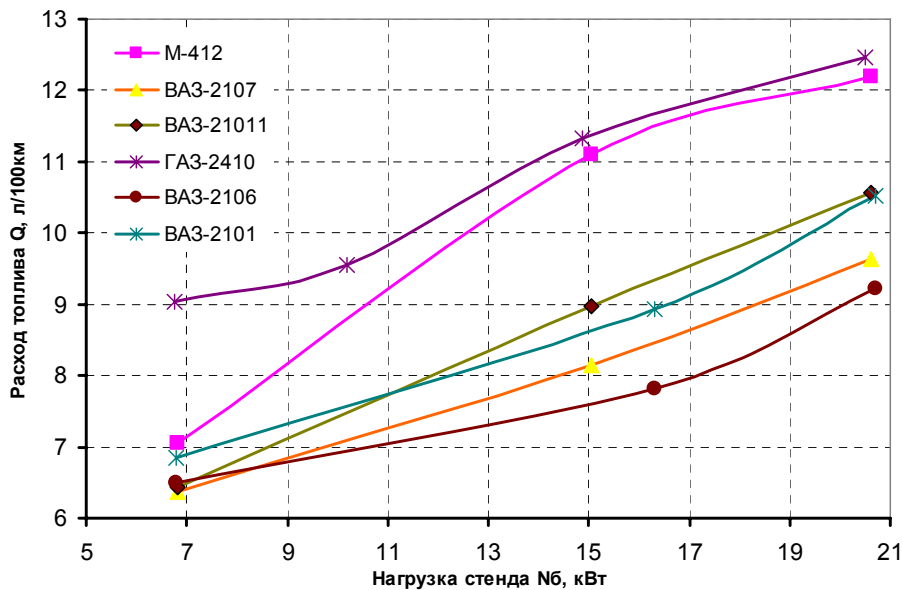


Рисунок 2 – Графики расход топлива в л/100 км в зависимости от нагрузки на колесах автомобиля

Из графика 2 видно практически линейная характеристика расхода топлива и нагрузки на колесах автомобиля. Отклонения теоретической и экспериментальной характеристики для автомобиля ВАЗ-2107 не превышает 3%. Интенсивность изменения расхода топлива от нагрузки для разных автомобилей изменяется незначительно.

Выводы

1. Минимальный расход топлива для автомобиля ВАЗ 2107 приходится на диапазон скоростей от 60 до 90 км/ч.
2. Минимальной расход топлива автомобиля ВАЗ-2107 на дороге соответствует мощности на колесах автомобиля равной 7 кВт. При этой нагрузке расход топлива составляет 6 л/100 км.
3. В диапазоне нагрузки от 7 до 20 кВт с расход топлива исследуемых автомобилей увеличивается практически линейно.

Список литературы: 1. Говорущенко Н.Я. Системотехника транспорта. / Н.Я. Говорущенко, А.Н. Туренко. - Изд. 2-е, перераб. и дополн. – Харьков: РИО ХГАДТУ, 1999. – 468 с. 2. Говорущенко Н.Я. Алгоритм оценки топливной экономичности транспортных машин по удельным показателям. / Н.Я. Говорущенко, С.И. Кривошапов. // Девета научно-техническа конференция с международно участие “Транспорт, екология – устойчиво развитие” (15-17 май 2003). – Болгария, Варна: Технически университет, 2003. – С. 188-194. 3. Говорущенко Н.Я. Новая методика нормирования расхода топлива транспортных машин (метод четырех КПД) / Н.Я. Говорущенко, С.И. Кривошапов. // Автомобильный транспорт : Сб. научн. тр. – Харьков: ХНАДУ, 2004. - № 15. 4. Говорущенко Н.Я. Методика нормирования расхода топлива и выбросов. / Н.Я. Говорущенко, С.И. Кривошапов. // Сборник докладов XIV научно-техническа конференция с международно участие “Транспорт, екология – устойчиво развитие” - Болгария, Варна: ТУ, 2008. 5. Говорущенко Н.Я. Методы диагностирования автомобилей по изменению общего и индикаторного расхода топлива и частных КПД в отдельных агрегатах. / Н.Я. Говорущенко, Ю.В. Горбик. // XVI научно-техническа конференция с международно участие “Транспорт, екология – устойчиво развитие” - Варна: ТУ, 2010 – С. 442-450. 6. Говорущенко Н.Я. Методы системного расчетно-аналитического и стендового диагностирования легковых автомобилей / Н.Я. Говорущенко, Ю.В. Горбик // Автомобильный транспорт: Сб. науч. трудов. – Харьков: ХНАДУ, 2009. - № 25. – С. 58-61. 7. Кривошапов, С. И. Определение расхода топлива автомобиля на стенде с беговыми барабанами [Текст] / С. И. Кривошапов // Вестник Национального технического университета "ХПИ" : сб. науч. тр. : темат. вып. посв. 125-летию НТУ "ХПИ" и 80-летию каф. "Автомобиле- и тракторостроения" / Харьковский политехнический ин-т, нац. техн. ун-т. - Х. : НТУ "ХПИ", 2010. - Вып. 33: Автомобиле- и тракторостроение. - С. 72-78. - Библиогр.: с. 78 (7 назв.). 8. Кривошапов С.И. Розробка методики та алгоритму загального діагностування автомобілів за зміною коефіцієнта корисної дії. / Автореф. канд. техн. наук: 05.22.10. – Харків, ХДАДТУ, 1999. – 20 с.

Поступила в редколлегию 01.12.2012

УДК 629.113

Влияние нагрузочного режима движения на расход топлива автомобиля / С. И. Кривошапов, Ю. В. Горбик // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Автомобіле- та тракторобудування, 2012 – № 64 (970). – С. 57–62. – Бібліогр.: 8 назв.

Запропоновано математичну модель визначення витрати палива через режим навантаження та швидкість руху автомобіля. Наведено алгоритм і результати розрахунку витрати палива на дорозі й на стенді з біговими барабанами при різних навантаженнях. Наведено результати експериментальних досліджень оцінки паливної економічності автомобіля від навантаження на колесах автомобіля.

Ключові слова: автомобіль, витрата палива, стенд з біговими барабанами, режим навантаження, швидкісний режим, ККД.

A mathematical model for determining the flow of fuel through the mode of loading and vehicle speed. The algorithm and the results of the calculation of fuel consumption on the road and on a roller dynamometer at different loadings. The results of experimental studies estimate fuel economy of the vehicle load on wheels.

Key words: car, fuel consumption, a roller dynamometer, mode of load, mode of speed, efficiency.