

Кривошапов С.И.

Харьковский национальный
автомобильно-дорожный
университет
г. Харьков, Украина
E-mail: keat@khadi.kharkov.ua

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСХОДА ТОПЛИВА ПРИ ПРОГРЕВЕ ДВИГАТЕЛЯ АВТОМОБИЛЯ

УДК 629.113.004

В статье приведены результаты измерения расхода топлива в процессе прогрева двигателя автомобиля ВАЗ-2112. Разработана методика обработки экспериментальных данных и оценена погрешность. Приведена модель расчета расхода топлива на запуск и прогрев двигателя в зависимости от температуры окружающего воздуха. На примере автомобиля ВАЗ-2112 произведен расчет нормы расхода топлива, необходимого для запуска и прогрева двигателя в холодный период эксплуатации автомобиля. Получены зависимости для сравнительной оценки расхода топлива по разным методикам.

Ключевые слова: автомобиль, расход топлива, эксплуатационные свойства, нормирование, нормативные акты, условия эксплуатации, свойства топлива, температура.

Введение. Основным источником энергии для автомобиля пока остается топливо нефтяного происхождения. На его приобретение затрачивается около половины всех затрат, необходимых на эксплуатацию автомобиля. Расход топлива на предприятиях автомобильного транспорта обязательно учитывается и контролируется на законодательном уровне. Потребление горюче-смазочных материалов на автомобильном транспорте регламентируется приказом Министерства транспорта Украины № 43 от 10 февраля 1998 года с изменениями и дополнениями, последние из которых внесены приказом Министерства инфраструктуры Украины № 36 от 24.01.2012 [1]. Данный нормативный документ устанавливает для транспортных машин норму потребления топлива в л/100 км, которую можно применять только для движущегося автомобиля. Применение часовой нормы расхода топлива для большинства транспортных машин не предусмотрено.

Постановка проблемы. Каждый автомобиль некоторое время затрачивает на запуск и прогрев двигателя. В действующей методике [1] учитывается потребление топлива без движения транспортного средства только для автомобилей с ГБА и для всех автомобилей в процессе вынужденных длительных простоев с включенным двигателем.

В математических моделях расчета расхода топлива [2, 3, 4] режим запуска и прогрева двигателя не рассматривается. Часовой расход топлива можно оценить по методике [5], но только на режиме движения транспортного средства.

В процессе прогрева двигателя система управления увеличивает подачу топлива, что приводит к увеличению оборотов коленчатого вала. В ходе прогрева, т.е. с увеличением температуры охлаждающей жидкости, обороты двигателя и расход топлива снижаются.

Цели и задачи исследования. Целью данного исследования является установление взаимосвязи между временем прогрева автомобиля и часовым расходом топлива. Для этого необходимо провести экспериментальные исследования и сравнить их с математической моделью, которая расчетным путем определяет норму расхода на один запуск и прогрев двигателя.

Результаты экспериментальных исследований. Как видно на графике (рис. 1), при запуске двигателя автомобиля ВАЗ-2112, когда температура окружающей среды составила +15 °С, ЭБУ в момент запуска увеличивает обороты двигателя до 1400 мин⁻¹,

но по мере прогрєва частота вращения коленчатого вала снижается, так что на 300 с (5 мин.) уже составляют 950 мин^{-1} , что близко к значению на режиме холостого хода.

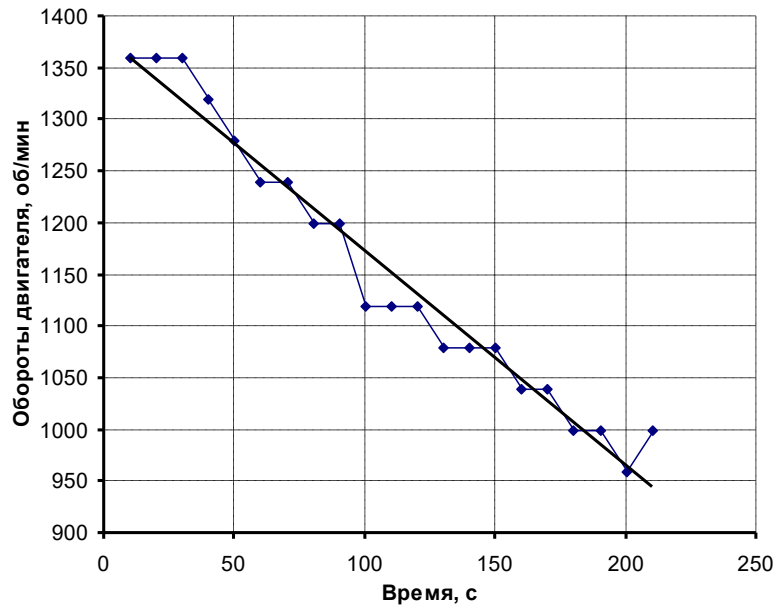


Рис. 1 – Зависимость оборотов коленчатого вала двигателя от времени прогрєва двигателя

Часовой расход топлива (рис. 2) в начальный период работы двигателя составляет 2,8 л/ч, а за 5 минут снижается до 1.3 л/ч. Часовой расход топлива прогрєтого автомобиля ВАЗ-2112 составляет 0,8...1,0 л/ч.

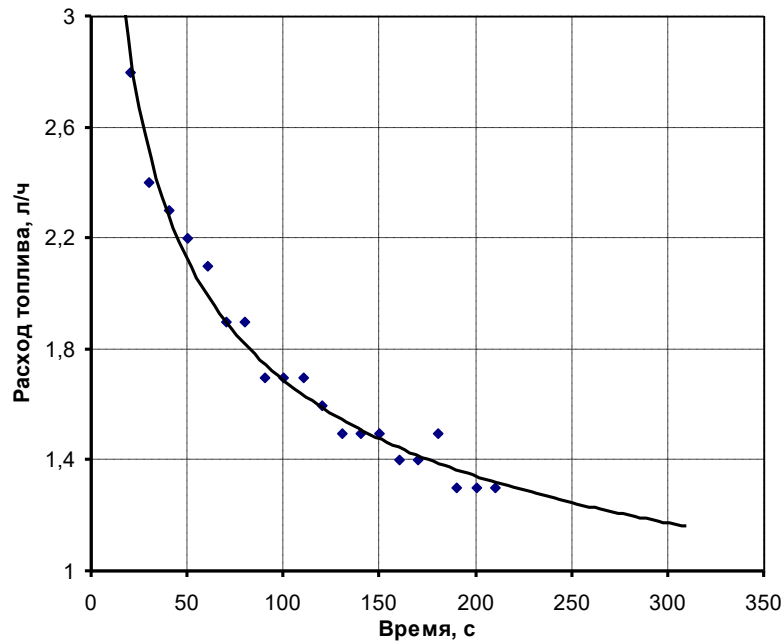


Рис. 2 – Зависимость часового расхода топлива от времени прогрєва двигателя

Температура двигателя в процессе прогрєва от времени изменяется практически по линейной зависимости (рис. 3). Для автомобиля ВАЗ-2112 интенсивность прогрєва составляет $0,16 \text{ }^\circ\text{C}/\text{с}$, что соответствует увеличению температуры на каждый $1 \text{ }^\circ\text{C}$ за 6.2 с. При температуре охлаждающей жидкости свыше $60 \dots 70 \text{ }^\circ\text{C}$, скорость прогрєв снижается.

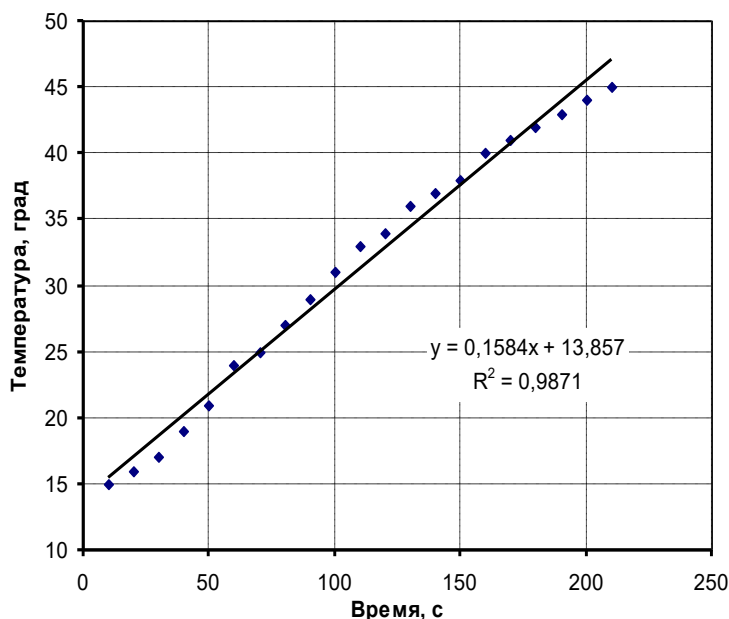


Рис. 3 – Зависимость температуры охлаждающей жидкости двигателя от времени прогрева двигателя

График зависимости часового расхода топлива (в л/ч) от времени прогрева (в с) можно аппроксимировать степенной зависимостью вида:

$$G = a \cdot t^b, \quad (1)$$

где t – температура прогрева, с; a и b – коэффициенты регрессии.

Для экспериментальных данных, представленных на рис. 2, были получены следующие значения коэффициентов:

$$a = 7.765, \quad b = -0.3314. \quad (2)$$

Коэффициент детерминации составил 0,976. Если время t измерять в часах, то значения коэффициентов a будет равно $2.157 \cdot 10^{-3}$.

Для определения расхода топлива за весь период прогрева двигателя необходимо суммировать значения часовой расход топлива на интервале от начала запуска двигателя до момента начала движения автомобиля. В интегральном виде:

$$Q = \frac{dQ}{dt} = \int_0^{t_1} a \cdot t^b dt = a \cdot \frac{t^{b+1}}{b+1} \Big|_0^{t_1} = \frac{a}{b+1} \cdot t_1^{b+1}, \quad (3)$$

где t_1 – время прогрева двигателя, с.

Значения коэффициентов a и b , а также формулы расчета часового расхода топлива для других формул аппроксимации приведены в табл. 1.

Таблица 1

Значение коэффициента при разных расчетных зависимостях расхода топлива

Формула аппроксимации	Значение коэффициентов		Суммарный расход топлива	Коэффициент детерминации R^2
	a	b		
$G = a \cdot \ln t + b$	-0.6218	4.95	$Q = a \cdot t_1 (\ln t_1 - 1) + b \cdot t_1$	0.983
$G = a \cdot e^{b \cdot t}$	2.596	-0.0036	$Q = \frac{a}{b} \cdot (e^{b \cdot t_1} - 1)$	0.927
$G = a \cdot t^b$	7.765	-0.3314	$Q = \frac{a}{b+1} \cdot t_1^{b+1}$	0.976
$G = a \cdot t + b$	-0.0066	2.51	$Q = 0.5 \cdot a \cdot t_1^2 + b \cdot t_1$	0.874

Математическое моделирование расхода топлива. Исходное уравнение для расчета расхода топлива (в л/ч) на один прогрев двигателя:

$$G = \frac{0.01}{\eta_i} [A \cdot K_1 + B \cdot K_2] \cdot \frac{t_{\min} + \Delta_t \cdot (t_{\max} - t_{\min})}{3600} \cdot K_t \quad (4)$$

где K_1, K_2 – коэффициенты режима нагрузки двигателя автомобиля; t_{\min} – температура холодного двигателя, °C; t_{\max} – температура прогретого двигателя, °C; Δ_t – интенсивность прогрева двигателя, с/°C; K_t – коэффициент температурной коррекции расхода топлива.

Значения коэффициентов K_1 и K_2 можно рассчитать по следующим формулам:

$$K_1 = \frac{1 + K_c \cdot V_{\max} \cdot i_{kp}}{2}, \quad (5)$$

$$K_2 = \frac{1 + K_c^2 \cdot V_{\max}^2 \cdot i_{kp}^2}{2}, \quad (6)$$

где K_c – скоростной коэффициент двигателя; V_{\max} – максимальная скорость автомобиля, км/ч; i_{kp} – передаточное число повышенной передачи.

Значение коэффициентов определяется по формулам [4]:

$$A = \frac{7.95 \cdot a_m \cdot V_h \cdot i_0}{H_n \cdot \rho_T \cdot r_k}; \quad (7)$$

$$B = \frac{0.69 \cdot b_m \cdot V_h \cdot S_n \cdot i_0^2}{H_n \cdot \rho_T \cdot r_k^2}; \quad (8)$$

где a_m и b_m – коэффициенты механических потерь в двигателе, в кПа и кПа·с/м; V_h – рабочий объем двигателя, л; i_0 – передаточное число главной передачи; r_k – динамический радиус колеса, м; S_n – ход поршня, м; H_n – низшая теплота сгорания, кДж/кг; ρ_T – плотность топлива, кг/м³; η_{mp} – КПД трансмиссии.

Коэффициент температурной коррекции расхода топлива можно определить в соответствии с рекомендациями [3]:

$$K_t = 1 - 0.5 \cdot 10^{-2} \cdot t, \quad (9)$$

где t – температура окружающей среды, °C.

Пример расчета и анализ результата исследований. Рассчитаем часовой расход бензина на примере автомобиля ВАЗ-2112. Для этого автомобиля примем следующие исходные данные: $a_m=45$ кПа; $b_m=13$ кПа·с/м; $V_h=1.597$ см³; $S_n=0.0756$ м; $i_0=3.937$; $r_k=0.272$ м; $G_a=10400$ Н (1060 кг), $\eta_{TP}=0.92$; $H_u=44000$ кДж/кг; $\rho_T=0.733$ г/см³; $\eta_i=0.35$; $kF=0,54$ Н·с²/м²; $K_c=0.74$; $V_{\max}=185$ км/ч; $i_{kp}=0.784$.

Определяем численные значения коэффициентов A и B :

$$A = \frac{7.95 \cdot 45 \cdot 1.597 \cdot 3.937}{44000 \cdot 0.733 \cdot 0.272} = 0.256;$$

$$B = \frac{0.69 \cdot 13 \cdot 1.597 \cdot 0.0756 \cdot 3.937^2}{44000 \cdot 0.733 \cdot 0.272^2} = 0.0069.$$

Определяем численные значения коэффициентов K_1 и K_2 :

$$K_1 = \frac{1 + 0.74 \cdot 185 \cdot 0.784}{2} = 54.2;$$

$$K_2 = \frac{1 + 0.74^2 \cdot 185^2 \cdot 0.784^2}{2} = 5760.3.$$

Принимаем минимальную температуру двигателя равную температуры окружающей среды, то есть $t_{\min} = t$, а температуру прогрева двигателя, как температуру начала движения, которое принимаем равным: $t_{\max} = 70$ °С. Средняя скорость прогрева двигателя составляет $\Delta_t = 6$ с/°С.

Тогда уравнение расхода топлива (4) на прогрев двигателя примет следующий вид:

$$G = \frac{0.01}{0.35} [0.256 \cdot 54.2 + 0.0069 \cdot 5760.3] \cdot \frac{t + 6 \cdot (70 - t)}{3600} \cdot (1 - 0.005 \cdot t), \quad (10)$$

или

$$G = 4.256 \cdot 10^{-4} \cdot (240 - 5 \cdot t) \cdot (1 - 0.005 \cdot t). \quad (11)$$

Рассмотрим пример, когда время прогрева двигателя составит 300 с (5 мин. или 0,083 ч), то расход топлива по формуле (3) составит:

$$Q = \frac{2.157 \cdot 10^{-3}}{1 - 0.3314} \cdot t_1^{1 - 0.3314} = 3.226 \cdot 10^{-3} \cdot 300^{0.669} = 0.146 \text{ л.}$$

Расход топлива по формуле (11) будет равен:

$$G = 4.256 \cdot 10^{-4} \cdot (240 - 5 \cdot 15) \cdot (1 - 0.005 \cdot 15) = 0.136 \text{ л.}$$

В табл. 2. приведены сравнительный анализ зависимостей расчета расхода топлива, полученные по результатам обработки экспериментальных данных (табл. 1). Математическая модель больше приближена ко второй модели аппроксимации $G = a \cdot e^{b \cdot t}$ с точностью менее 3 %.

Таблица 2

Сравнение расхода топлива, полученного разными методами

Формула аппроксимации	Расчетная формула	Расход топлива, л	Отклонение от модели (10), %
$G = a \cdot \ln t + b$	$t \cdot (1.55 - 0.173 \cdot \ln(t)) \cdot 10^{-3}$	0.169	24,3
$G = a \cdot e^{b \cdot t}$	$-0.2 \cdot e^{-0.0036t} + 0.2$	0.132	2,9
$G = a \cdot t^b$	$3.226 \cdot 10^{-3} \cdot t^{0.669}$	0,146	7,3
$G = a \cdot t + b$	$6.97 \cdot 10^{-4} \cdot t - 9.17 \cdot 10^{-7} \cdot t^2$	0.127	6,6

В приказе № 43 Минтранса Украины [1] в случае вынужденных простоев автомобилей под погрузкой и разгрузкой в пунктах, где по условиям пожарной безопасности запрещено выключать двигатель предусмотрено дополнительное потребление топлива до 5 % от базовой линейной нормы на один час простоя. Эту норму закона нельзя использовать для прогрева двигателя, однако мы применим ее для нашего примера. Сведения об автомобиле ВАЗ-2112 отсутствуют в приказе, поэтому возьмем аналог - автомобиль ВАЗ-21102, для которого базовая норма расхода топлива составит 7.2 л/100 км. Тогда за час простоя этого автомобиля планируется выделить $5 \cdot 7.2/100 = 0.36$ л. За 300 с или 0,083 ч расход топлива составит - $0.36 \cdot 0.083 = 0.03$ л.

Как видно из примера, даже если мы бы могли воспользоваться методикой [1] расчета дополнительного расхода топлива на вынужденный простоя автомобиля с включенным двигателем, то все равно не смогли покрыть реальный расход топлива, затраченный на прогрев автомобиля.

Выводы. Необходимо совершенствовать действующую на Украине систему нормирования горюче-смазочных материалов. Кроме путевой нормы расхода топлива необходимо устанавливать часовой расход топлива по каждой марке автомобиля. Дополни-

тельно следует определить и установить норму расхода топлива на запуск и прогрев двигателя. Учет времени прогрева двигателя можно производить бортовыми или удаленными системами мониторинга.

Литература:

1. Норми витрат палива і мастильних матеріалів на автомобільному транспорті. - Київ: Мінтранс України, 1998. – 45 с.
2. 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 – С. 31-34.
3. Говорущенко Н.Я. Системотехника транспорта (на примере автомобильного транспорта) / Н.Я. Говорущенко, А.Н. Туренко. – Харьков: РИО ХГАДТУ, 1998 – 474 с.
4. Говорущенко Н.Я. Экономия топлива и снижение токсичности на автомобильном транспорте / Н.Я. Говорущенко. – М.: Транспорт, 1990. – 135 с.
5. Кривошапов С.И. Методика расчета часового расхода топлива для транспортных машин / С.И. Кривошапов. // Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенко : Наукове видання. – Харків, 2016. – Вип. № 169. – С. 219-222.

Summary

S. Krivoshapov Determination of fuel consumption during warming of the engine of the car

The article presents the results of measuring the fuel consumption in the process of warming up the engine of the VAZ-2112. A method for processing experimental data was developed and the error was estimated. A model for calculating fuel consumption for starting and warming up the engine, depending on the ambient temperature, is given. On the example of the VAZ-2112, the calculation of the rate of fuel consumption required to start and warm up the engine in the cold period of operation of the vehicle. Dependences are obtained for a comparative assessment of fuel consumption using different methods.

Key words: car, fuel consumption, performance properties, rationing, regulations, operating conditions, fuel properties, temperature.

References

1. Normy vytrat palyva i mastyl'nyh materialiv na avtomobil'nomu transporti. Kyi'v, Mintrans Ukrainy, 1998, 45 p.
2. Govorushchenko N.Ya., Krivoshapov S.I. Novaya metodika normirovaniya raskhoda topliva transportnykh mashin (metod chetyrekh KPD). Avtomobil'nyy transport. Khar'kov, KhNADU, 2004, No 15, pp. 32-36.
3. Govorushhenko N.Ja., Turenko A.N. Sistemotehnika transporta (na primere avtomobil'nogo transporta). Har'kov, RIO HGADTU, 1999, 474 p.
4. Govorushhenko N.Ja. Jekonomija topliva i snizhenie toksichnosti na avtomobil'nom transporte. Moskva, Transport, 1990, 135 p.
5. Krivoshapov S.I. Metodika rascheta chasovogo raskhoda topliva dlya transportnyh mashin. Visnik HNTUSG im. P. Vasilenko, 2006, No 169, pp. 219-222.