

УДК 629.113

Оценка возможности использования аналитических методов при исследовании топливной экономичности автомобилей*

С.М. Огороднов, А.Н. Тихомиров, С.И. Малеев

ГОУ ВПО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева», 603950, Нижний Новгород, Российская Федерация, Минина ул., д. 24.

Evaluating the applicability of analytical methods to the analysis of fuel efficiency of cars

S.M. Ogorodnov, A.N. Tikhomirov, S.I. Maleev

Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev, NSTU, Minina str., 24, 603950, Nizhny Novgorod, Russian Federation.



e-mail: cte@mail.ru, alniti@mail.ru, sergmaleev91@mail.ru



Разработка аналитических методов расчета топливной экономичности при моделировании движения транспортных средств (ТС) в соответствии с нормативными режимами и циклами является актуальной задачей, успешное решение которой позволит существенно снизить затраты материальных и финансовых ресурсов на стадии принятия решений. Приведены результаты моделирования с использованием программного комплекса GT-SUITE и испытаний для легкого коммерческого автомобиля при движении по магистральному циклу. Рассмотрены применяемое при испытаниях оборудование и измерительная аппаратура. Обоснование достоверности результатов моделирования проведено путем сравнения их с результатами испытаний. Получены зависимости путевого расхода топлива при движении с постоянной скоростью на различных передачах. Приведены сравнительные данные по расходу топлива при движении с постоянными скоростями и по магистральному циклу, подтверждающие приемлемую сходимость результатов при моделировании и испытаниях. На основании этого сделан вывод, что данная методика правомерна и может быть использована инженерами в конструкторских отделах автомобильных предприятий при проектировании ТС.

Ключевые слова: расход топлива, режим движения, топливно-экономическая характеристика, магистральный цикл, топливо.



The development of analytical methods for calculating the fuel consumption of vehicles in accordance with normative regimes and cycles is an important problem. Solving this problem will significantly reduce the cost of material and financial resources at the decision-making stage. The results of simulation using the software package GT-SUITE and tests of a light commercial vehicle in its main road cycle are presented. The applied test equipment and instrumentation are described. The simulation results are validated by comparing them with the results of the tests. Relationships for the fuel consumption when driving at a con-

* Исследования выполнены при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках проекта по договору № 02.G25.31.0006 от 12.02.2013 г. (постановление Правительства Российской Федерации от 9 апреля 2010 года № 218). Экспериментальные работы проведены с использованием измерительного оборудования Центра коллективного пользования НГТУ «Транспортные системы».

stant speed on various gears are deduced. The comparison of the data on the fuel consumption at a constant speed in the main road cycle proved acceptable convergence of the simulation and test results. It is concluded that this method is practical and can be used by engineers in the development departments of automotive companies when designing vehicles.

Keywords: fuel consumption, mode of motion, fuel-economic characteristics, driving cycle, fuel.

Топливная экономичность транспортных средств (ТС), в частности автомобилей, при выполнении транспортной работы в различных дорожно-эксплуатационных условиях зависит от совокупности свойств, обуславливающих расход топлива [1]. Сложность оценки топливной экономичности ТС аналитическими методами при движении в реальных дорожных условиях определяется многофакторностью влияния на показатели работы двигателя параметров и характеристик агрегатов автомобиля, свойств опорной поверхности и даже способа управления автомобилем [2].

Среди составляющих экономических показателей работы автомобиля стоимость топлива для двигателя может составлять более 30 % всех затрат на его эксплуатацию, и эти затраты продолжают возрастать. При выборе потребителем модели ТС во многих случаях решающее значение имеет его топливная экономичность. Поэтому снижение расхода топлива при разработке новых моделей или их модернизации должно стать одной из важнейших целей. Реализация задач, обеспечивающих повышение топливной экономичности автомобилей, — сложный и достаточно длительный процесс. Его экономическая составляющая может быть уменьшена при использовании расчетных методик оценки расхода топлива, необходимость в которых может возникнуть на разных стадиях проектных работ с целью сравнения эффективности вариантов конструктивных схем трансмиссии автомобиля или различных моделей двигателей автомобиля.

Цель работы — разработка аналитической методики определения расхода топлива и обоснование возможности ее применения путем сравнения с результатами испытаний.

В соответствии с ГОСТ Р 54810–2011 [3] оценка показателей и характеристик топливной экономичности выполняется экспериментально в процессе дорожных испытаний. Стандартом предусмотрено определение основных показателей и характеристик: расход топлива при заданных скоростях движения Q_{V_i} ; расход топлива в магистральном цикле на дороге Q_m ; расход топлива в городском цикле на дороге Q_c ; топливная характеристика установившегося

движения Q_s ; контрольный расход топлива Q_{Sk} [3]. Отличительной особенностью стандарта является использование для оценки топливной экономичности относительно простых режимов испытаний, исключающих движение автомобиля по дороге с переменным продольным макропрофилем [4].

Разработка аналитических методов расчета топливной экономичности при моделировании движения ТС в соответствии с нормативными режимами и циклами — актуальная задача, успешное решение которой позволит существенно снизить затраты материальных и финансовых ресурсов на стадии принятия решений. Теоретический расчет отдельных показателей и характеристик топливной экономичности в соответствии с ГОСТ Р 54810–2011 может быть выполнен с помощью алгоритмов, приведенных в учебной литературе [1], но разработка приемлемой инженерной методики расчетов, позволяющих оценить расход топлива при движении по заданным циклам в реальных дорожных условиях, требует определенных усилий.

При разработке методики оценки расхода топлива при движении ТС в магистральном и городском циклах на дороге учтены требования к измерительным дорожным участкам. Моделируется движение ТС по прямолинейному, горизонтальному участку дороги с цементно-бетонным или асфальто-бетонным ровным сухим и чистым покрытием, длина которого меняется в зависимости от типа испытаний.

Характер движения ТС при измерении расхода топлива зависит от поставленной задачи, но каждый вид испытаний может быть реализован в результате выбора требуемого режима движения или их сочетания из следующей совокупности: движение с постоянной скоростью, разгон на требуемой передаче в определенном интервале скоростей, замедленное движение при торможении двигателем, служебное торможение до остановки, работа двигателя на холостом ходу.

Вся совокупность режимов движения используется при оценке расхода топлива в городском цикле на дороге. При оценке расхода топлива в магистральном цикле на дороге ис-

ключаются режимы служебного торможения и работы двигателя на холостом ходу. Для определения расхода топлива при заданных скоростях движения, топливной характеристики установившегося движения и контрольного расхода топлива движение автомобиля осуществляется с постоянной скоростью. Режимы испытаний по определению расхода топлива установлены операционной картой и схемой цикла, но расчет расхода топлива выполняется с учетом некоторых допущений [5].

Для современных бензиновых и дизельных двигателей с электронным управлением при замедленном движении с торможением двигателем подача топлива прекращается при достижении установленной нижней границы частоты вращения коленчатого вала 1 200... 1 500 об/мин и двигатель начинает работать в режиме компрессора. При моделировании движения в циклах принимаем, что подача топлива не прекращается все время торможения двигателем. Не учитывая особенностей переходных процессов в работе двигателя при служебном торможении, полагаем, что в течение указанной фазы цикла двигатель работает в режиме холостого хода.

Сделанные допущения позволяют упростить схему движения при моделировании цикловых испытаний.

В соответствии со стандартом, ездые циклы на дороге должны выполняться при соблюдении определенных требований. Например, магистральный цикл на дороге для ТС категорий М₁, М₂ и М₃ класса III состоит из участков разгона, движения с постоянной скоростью и замедления двигателем [3]. Разгон в интервалах заданных скоростей должен начинаться на одной из наиболее низких передач, на которой номинальная скорость больше начальной скорости разгона не менее, чем на 10 км/ч. Понятие «номинальная скорость» определяется как «скорость движения ТС на данной передаче,

соответствующая номинальной частоте вращения коленчатого вала двигателя, при которой он развивает номинальную мощность» [3]. Для трансмиссии со ступенчатой коробкой передач следует использовать наиболее выгодные по режимам движения передачи. Таким образом, схемы циклов жестко не устанавливают интенсивность разгона и не определяют ни пути, ни времени разгона, которые должны быть определены при моделировании движения.

Алгоритмы вычисления расхода топлива в магистральном и городском циклах реализуются в соответствии с известными определениями и формулами, используемыми в теории автомобиля [1], и при выполнении установленных условий и допущений. Основным теоретическим инструментом для определения расхода топлива при моделировании движения автомобиля являются топливно-экономические характеристики установившегося движения и разгона. Топливо-экономическая характеристика при установившейся скорости движения автомобиля представляет собой зависимость путевого расхода топлива Q_s от скорости V на дорогах с различными значениями коэффициента сопротивления ψ (рис. 1, а). Кривые путевого расхода рассчитываются для каждой передачи трансмиссии автомобиля по известным формулам.

Топливо-экономическая характеристика может быть использована для расчета расхода топлива при разгоне автомобиля (рис. 2, б). Зависимость путевого расхода топлива от скорости автомобиля при движении с заданным ускорением по дороге с постоянным коэффициентом сопротивления называют топливно-экономической характеристикой разгона автомобиля.

Моделирование движения по измерительному участку дороги выполнялось для автомобиля «ГАЗель NEXT» с механической 5-ступенчатой коробкой передач и двигателем CUMMINS ISF 2,8.

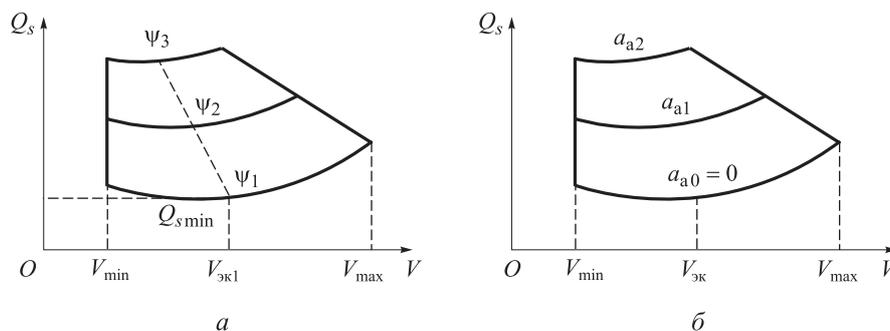


Рис. 1. Топливо-экономическая характеристика: а — установившееся движение; б — разгон

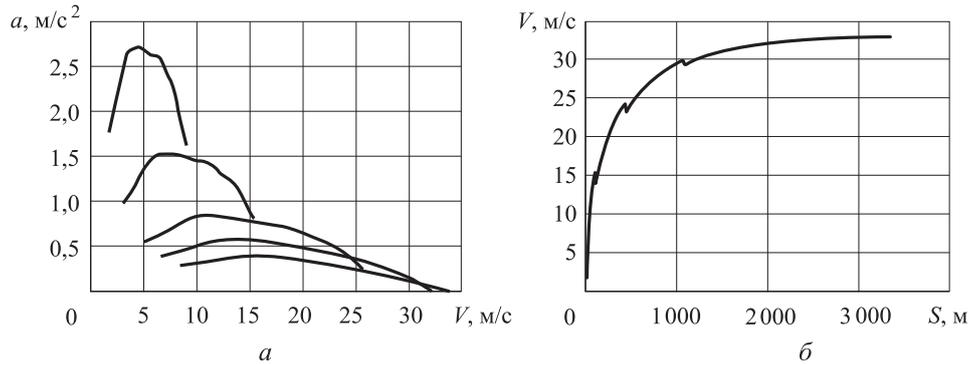


Рис. 2. Зависимость ускорения (а) и пути разгона (б) от скорости

Для сохранения ресурса трансмиссии выбрана характеристика двигателя с ограничением по крутящему моменту ~ 280 Н·м. На автомобиле установлен кузов с тентом, что существенно снижает показатели аэродинамики. Ускорения на каждом из участков разгона циклов определяются с учетом принятых допущений в следующем порядке. В качестве примера указан порядок определения расхода топлива при моделировании движения в магистральном цикле для ТС категорий M_1 , M_2 и M_3 класса II. По внешней скоростной характеристике рассчитываются ускорение и путь разгона автомобиля (рис. 2).

Разгон на первом участке магистрального цикла выполняется в диапазоне скоростей 40...70 км/ч на передаче, номинальная скорость движения V_n на которой в соответствии с [3] должна быть $V_n \geq 50$ км/ч (13,9 м/с). Этому условию соответствует разгон на III передаче (рис. 2, а). Ускорения автомобиля в указанном диапазоне скоростей при разгоне на полном дросселе изменяются в диапазоне 0,83...0,73 м/с², в среднем ускорение на первом участке разгона принято равным 0,78 м/с². Второй участок разгона в диапазоне скоростей 60...90 км/ч выполняется на передаче при $V_n \geq 70$ км/ч (19,4 м/с). Этому условию соответствует разгон на IV передаче, а ускорения автомобиля изменяются в диапазоне 0,37...0,23 м/с². В среднем ускорение на втором участке разгона принято равным 0,3 м/с². Третий участок разгона в диапазоне скоростей 80...90 км/ч выполняется на передаче при $V_n \geq 90$ км/ч (25 м/с). Этому условию соответствует разгон на IV или V передачах, ускорение автомобиля в указанном диапазоне скоростей для указанных передач составляет соответственно 0,38...0,42 и 0,24...0,32 м/с², в среднем 0,4 и 0,28 м/с².

В первом приближении считаем, что на каждом из участков разгона ускорение остается постоянным в силу малых вариаций его

значений. Это позволяет использовать топливно-экономическую характеристику установленного двигателя и упростить задачу расчета расхода топлива на участках разгона. Если известен расход топлива при равномерном движении по дороге с коэффициентом ψ_1 , то движение с ускорением можно рассматривать как равномерное движение по дороге с коэффициентом сопротивления $\psi_2 - \psi_1$, при котором увеличение силы сопротивления обусловлено действием силы сопротивления разгону [1]:

$$F_{\psi 2} = F_{\psi 1} + F_a = F_{\psi 1} + \delta m_a a_a, \quad (1)$$

где $F_{\psi 1}$, $F_{\psi 2}$ — силы сопротивления движению соответственно при коэффициентах сопротивления ψ_1 и ψ_2 ; F_a — сила сопротивления разгону; δ — коэффициент учета ускоренно-вращающихся масс; m_a — полная масса автомобиля; a_a — ускорение автомобиля.

При известном значении коэффициента сопротивления ψ_1 значение постоянного ускорения, с которым может двигаться автомобиль с двигателем, работающим в режиме полного использования мощности, определяется выражением

$$a_a = \frac{F_{\psi 2} - F_{\psi 1}}{\delta m_a}. \quad (2)$$

Здесь a_a — ускорение автомобиля при движении по дороге с коэффициентом сопротивления ψ_1 .

С учетом принятых допущений сила сопротивления при равноускоренном движении на каждом из участков разгона магистрального цикла определяется по формуле

$$F_{\psi 1} = F_{a1} + F_{\psi} = \delta m_a a_1 + F_{\psi}, \quad (3)$$

где $F_{\psi 1}$ — сила сопротивления при равноускоренном движении; F_{a1} — сила сопротивления разгону; a_1 — среднее значение ускорения на участках разгона; F_{ψ} — сила сопротивления при

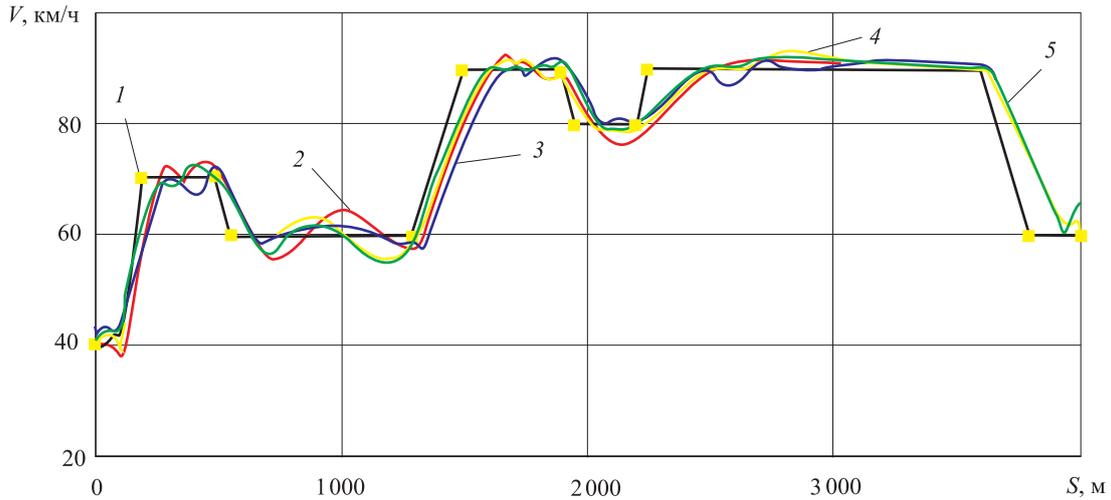


Рис. 3. Схема магистрального цикла и характер движения при заездах на дороге: 1 — ГОСТ; 2 — 1-й круг; 3 — 2-й круг; 4 — 3-й круг; 5 — 4-й круг

равномерном движении по дороге с коэффициентом сопротивления ψ .

С учетом выражений (2), (3) и принятых допущений алгоритм расчета расхода топлива в магистральном цикле реализован в следующем виде. Для определения расхода топлива на участках движения с постоянной скоростью рассчитываются характеристики путевого расхода топлива Q_s на передачах и для скоростей движения (см. рис. 1, а), установленных схемой цикла, приведенной на рис. 3.

Для постоянных (средних) значений ускорений a_i участков разгона при известном значении коэффициента сопротивления ψ рассчитываются топливно-экономические характеристики разгона $Q_s = f(V, a_i)$. Ось абсцисс (скорости) в пределах каждого участка разгона разбивается на достаточно малые отрезки ΔV_i , выбираемые с учетом назначенной (допустимой по условиям задачи) разницы между начальным ΔV_i и конечным значением ΔV_{i+1} скорости на каждом выделенном отрезке (рис. 4). Средняя скорость движения на выде-

ленном отрезке рассчитывается по формуле

$$V_{i\text{cp}} = \frac{V_i + V_{i+1}}{2}. \quad (4)$$

Здесь V_i, V_{i+1} — соответственно начальное и конечное значение скорости на выделенном отрезке.

Время прохождения каждого из выделенных отрезков

$$\Delta t_i = \frac{V_{i+1} - V_i}{a_i}, \quad (5)$$

где Δt_i — время прохождения выделенного участка.

Расстояние, пройденное автомобилем в пределах выделенного отрезка скоростей

$$\Delta S_i = V_{i\text{cp}} \Delta t_i = \frac{V_{i+1}^2 - V_i^2}{2a_i}. \quad (6)$$

Объем израсходованного на отрезке $(V_{i+1} - V_i)$ топлива определяется в соответствии с выражением

$$Q_i = \frac{Q_{Si} \Delta S_i}{100}, \quad (7)$$

где Q_{Si} — путевой объем расхода топлива на отрезке изменения скорости движения $(V_{i+1} - V_i)$.

Объем топлива, израсходованного на i -м участке разгона, с учетом выражений (4)–(7) может быть рассчитан по формуле

$$Q_i = \sum_{i=1}^k \frac{Q_{Si} \Delta S_i}{100} = \frac{1}{200 a_i} \sum_{i=1}^k Q_{Si} (V_{i+1} - V_i), \quad (8)$$

где i — количество интервалов (отрезков) разбиения диапазона изменения скорости автомо-

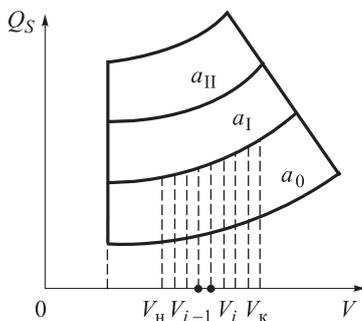


Рис. 4. Определение расхода топлива на участке разгона

бия при разгоне на i -м участке; V_1 — начальная скорость участка разгона; V_k — конечная скорость участка разгона.

На участках магистрального цикла с торможением двигателем, в соответствии с принятыми допущениями, предполагается, что двигатель работает в режиме холостого хода. Расход топлива в режиме холостого хода за цикл определяется выражением

$$Q_{x.x} = \frac{G_T t}{\rho_T} = \frac{g_e P_e t_\Sigma}{1000 \rho_T}, \quad (9)$$

где G_T — часовой расход топлива автомобиля; t — время работы двигателя автомобиля в режиме холостого хода; ρ_T — плотность топлива; g_e — удельный эффективный расход топлива; P_e — мощность двигателя автомобиля; t_Σ — время работы двигателя в режиме холостого хода за цикл. Более подробно определение расхода топлива на холостом ходу рассмотрено в работе [7].

Объем израсходованного топлива в магистральных циклах Q_M с учетом всех составляющих движения рассчитывается по следующей формуле:

$$Q_M = \sum_{I=1}^K Q_I + Q_{x.x} + \sum_{S=1}^{K_1} Q_S. \quad (10)$$

Здесь Q_I — суммарный расход топлива на участках разгона,

$$Q_I = \sum_{I=1}^K \sum_{i=1}^{K_1} \frac{Q_{Si} \Delta S_i}{100}; \quad (11)$$

Q_S — суммарный расход топлива на участках равномерного движения,

$$Q_S = \sum_{S=1}^{K_1} \frac{Q_S S_S}{100}; \quad (12)$$

K_1 — количество выделенных отрезков на участке разгона; Q_S — путевой расход топлива на участке движения с постоянной скоростью; S_S — расстояние, пройденное автомобилем в пределах участка движения с постоянной скоростью; K — количество участков равномерного движения в магистральном цикле. Для ТС категорий M_1 , M_2 и M_3 класса II $K = 3$, $K_1 = 6$.

Инженерные расчеты и математическое моделирование движения автомобиля при расчете расхода топлива выполнены в программном комплексе компании Gamma Technologies Inc (GTI) — GT-SUITE, позволяющим решать широкий спектр задач, в том числе и относящихся к исследованию динамики ТС. В пакет программ GT-SUITE входят приложения для построения расчетной модели, графического

представления результатов и их анимации, планирования экспериментов моделирования, оптимизации результатов, распределения вычислений для работы на нескольких компьютерах, для преобразования 3D CAD модели в GT-пакет моделирования, VT-дизайн инструмент для графического дизайна и расширения возможности моделирования с использованием программного обеспечения системы управления SIMULINK (Mathworks) и др. Пример использования пакета программ GT-SUITE приведен в работе [8].

Основная часть параметров, закладываемых в виртуальную модель, имеет обоснованные численные значения, полученные либо из конструкторской документации, либо с помощью вспомогательных расчетов. Тем не менее, существуют параметры, значения которых неизвестны, но могут существенно влиять на результаты расчета. Относительно точные значения некоторых из них можно получить экспериментальными методами или в результате разработки специальных расчетных моделей.

На расход топлива большое влияние оказывает коэффициент аэродинамического сопротивления автомобиля C_x и коэффициент сопротивления качения шин f . В ходе эксперимента коэффициент f задавался переменным в зависимости от скорости движения, исходя из рекомендаций, приведенных в документации к программному комплексу GT-SUITE.

На характер движения воздуха при обтекании им реального объекта существенно влияют формы и размеры деталей кузова. При моделировании движения автомобиля коэффициент C_x рассчитывался в программном комплексе CD Adapco Star CCM+, позволяющем имитировать процесс обтекания воздухом объемной модели автомобиля. При моделировании поверхности автомобиля с учетом всех особенностей конструкции кузова существенно усложняется расчетная модель и значительно увеличивается время расчета. В первом приближении при определении аэродинамических характеристик объекта использовалась относительно простая расчетная модель, составленная без учета или детализации особенностей поверхности кузова ТС, позволившая получить приблизительное значение коэффициента $C_x = 0,5$.

Программный комплекс позволяет рассчитать расход топлива для каждой фазы испытательного цикла, но для определения начальных условий (пути или времени) должен быть дополнен подпрограммой вычисления начальных значений параметров.

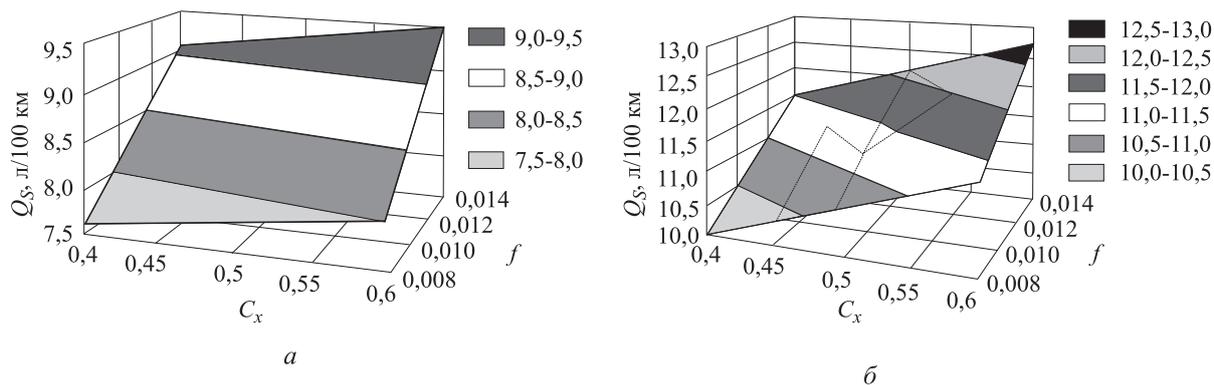


Рис. 5. Путь расход топлива при движении расчетной модели:
 а — на III передаче при $V_a = 41,5$ км/ч; б — на V передаче при $V_a = 70$ км/ч

Адаптация программного комплекса GT-SUITE для расчета расхода топлива в ездовых циклах выполнена с учетом сопоставимости результатов расчетов по известным теоретическим зависимостям [1] и в соответствии с алгоритмами, используемыми в комплексе.

Примеры расчета путевого расхода топлива в программном комплексе GT-SUITE приведены на рис. 5. Изображенные на рисунках поверхности (совокупность топливно-экономических характеристик) показывают характер изменения Q_s при различных значениях параметров C_x и f ($f = 0,08...0,14$, $C_x = 0,4...0,6$).

Для проверки адекватности расчетной модели проведены экспериментальные исследования расхода топлива и полученные результаты сопоставлены с результатами моделирования движения автомобиля. При анализе характеристик перспективного автомобиля экологического класса V основные отличия от предшествующих моделей следует ожидать в зоне переходных режимов. Поэтому, кроме топливной характеристики установившегося движения, замер расхода топлива выполнен и в режиме движения по магистральному циклу. Для повторяемости и объективного сравнения результатов перед проведением замеров были проведены работы по приведению автомобиля к стандартным условиям в соответствии с требованиями [3]. Перед испытаниями был проверен «выбег» автомобиля со скорости 50 км/ч. По данным ООО «ГАЗ» он должен быть не менее 500 м; для испытуемого автомобиля выбег составлял 605 м. Для измерений расхода топлива использовался расходомер Corrsys-Datron DFL3x, предназначенный для замера расхода всех видов жидкого топлива для топливных систем всех типов в двигателях внутреннего сгорания ТС, судов и на испытательных стендах. Встроенный датчик поршневого типа обес-

печивает измерение расхода топлива до 250 л/ч. Принцип измерения основан на преобразовании частоты вращения ротора (вала), согласованной с расходом топлива, протекающего через известный объем поршневого пространства датчика, в электрические импульсы. Процессор сигналов преобразует полученные импульсы в выходной сигнал с желаемой для пользователя частотой. В процессе испытаний использовались каналы преобразователя, формирующие от 500 до 10 000 импульсов на 1 см³, и частотный сигнал, пропорциональный расходу топлива в диапазоне 1...10 000 Гц на 1 л/ч. Настройка цифровых каналов производилась вручную через специальную программу, прилагаемую к расходомеру — CeCalWin Pro. Калибровка измерительной системы выполнялась на моторном стенде в лаборатории «Двигатели внутреннего сгорания» НГТУ им. Р.Е. Алексеева на дизельном двигателе Steyr ГАЗ-560. Измерительная система включала обратную топливную магистраль слива топлива в бак.

Замеры расходов топлива проводились на полигоне ООО «ГАЗ» на участке горизонтальной дороги длиной 2 км с плавными разворотами. Для испытаний по измерению расхода в магистральном цикле дорога была размечена согласно ГОСТ Р 54810–2011. Заезды проводились не менее 2 раз в каждом направлении с постоянными скоростями на трех разных передачах и в соответствии с технологической картой магистрального цикла по ГОСТ Р 54810–2011 (рис. 6). Текущая частота вращения двигателя контролировалась штатным тахометром. Постоянная скорость поддерживалась с помощью автоматической системы. Максимальная скорость достигнута на V передаче — 118 км/ч.

Результаты замеров расхода топлива при движении с постоянными скоростями приве-

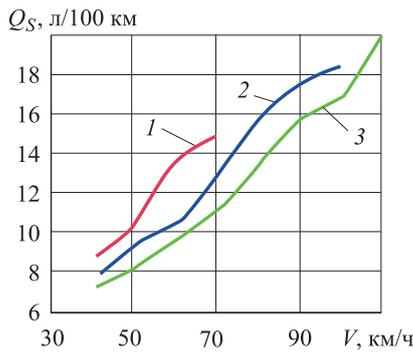


Рис. 6. Путь расход топлива при движении с постоянной скоростью:
1–3 — соответственно на III, IV и V передачах

дены на рис. 5, а; характер движения в магистральном цикле — на рис. 3.

В результате расчетов и графической интерпретации их результатов установлена тождественность основных тягово-скоростных и топливно-экономических характеристик, полученных путем расчетов с помощью известных теоретических зависимостей [1] с использованием программного комплекса GT-SUITE и путем натурных испытаний (рис. 7).

Для оценки правильности выбора значений коэффициента C_x с помощью программ комплекса GT-SUITE рассчитаны топливно-экономические характеристики движения автомобиля на V передаче при $C_x = 0,6$ и $C_x = 0,4$ (см. рис. 7 соответственно верхняя и нижняя граничные кривые). Относительное расположение приведенных на рис. 7 характеристик

позволяет предположить, что расчет коэффициента обтекаемости с использованием упрощенной аэродинамической модели позволяет получить удовлетворительные результаты.

Дополнительно при выполнении экспериментальных исследований был замерен расход топлива в магистральном цикле, результаты которых приведены ниже:

Номер заезда	1	2	3	4
Расход за цикл, л	0,568236	0,568649	0,565097	0,566912

Средний расход топлива в магистральном цикле по результатам четырех экспериментальных заездов $Q_M^3 = 0,567$ л. Расчет расхода топлива при движении в магистральном цикле с использованием соответствующих блоков комплекса GT-SUITE и принятых допущений позволил получить теоретическую оценку расхода $Q_M^r = 0,552$ л. Относительная погрешность экспериментального и расчетного значения расхода топлива составляет 2,5 %, что является приемлемым и позволяет сделать вывод о правомерности применения данной методики для определения расхода топлива при движении по магистральному циклу.

В результате проведенного исследования:

- разработана аналитическая методика определения расхода топлива при движении по магистральному циклу;
- для решения поставленных задач адаптирован пакет программ GT-SUITE компании Gamma Technologies;

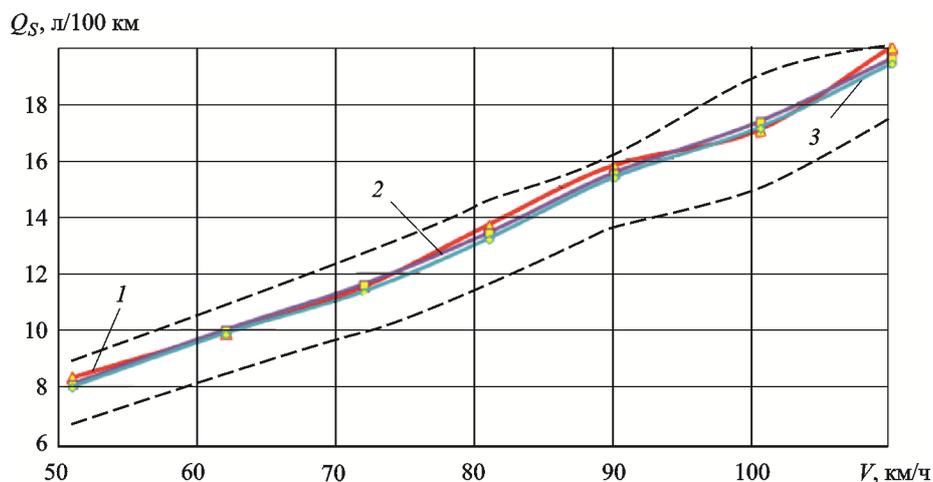


Рис. 7. Расчетные и экспериментальные топливно-экономические характеристики при движении на V передаче:
1 — испытания; 2 — результаты моделирования в GT-SUITE; 3 — результаты аналитического расчета;
--- — граничные кривые

• проведена серия заездов на полигоне в условиях, имитирующих движение в магистральном цикле, по результатам которой сделан вывод об обоснованности применения данной аналитической методики.

Литература

- [1] Кравец В.Н. *Теория автомобиля*. Нижний Новгород, Нижегород. гос. техн. ун-т им. Р.Е. Алексеева, 2013. 413 с.
- [2] Копотилов В.И. О комплексных показателях топливно-энергетической эффективности автомобиля. *Автомобильная промышленность*, 2012, № 5, с. 15–17.
- [3] ГОСТ Р 54810–2011. *Автомобильные транспортные средства. Топливная экономичность. Методы испытаний*. Москва, ФГУП Стандартиформ, 2012. 23 с.
- [4] Мусарский Р.А. Структурный и фрактальный анализы макропрофилей дорог. *Автомобильная промышленность*, 2014, № 2, с. 28–30.
- [5] Комаров В.В., Туровский Ф.В., Бакалейник А.М. Нормирование расхода топлива автомобильным транспортом в условиях неустойчивых транспортных потоков. *Автомобильная промышленность*, 2013, № 8, с. 26–30.
- [6] Gaines L., Vyas A., Anderson J.L. Estimation of Fuel Use by Idling Commercial Trucks. *Submitted for presentation at and inclusion in the compact disc of the 85th Annual Meeting of the Transportation Research Board*, Washington, D.C. January 22–26, 2006. 12 p.
- [7] *Gamma Technologies, Inc.* URL: <http://www.gtisoft.com> (accessed 10 November 2014).
- [8] Stamatelos A.M., Stapountzis H., Papadimitriou C. Simulation and experimental validation of steady state operation of a turbocharged, common rail HDI Diesel engine running on biodiesel blends. *Tesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science of the Department of Mechanical Engineering University of Thessaly, Volos*, February, 2010.

References

- [1] Kravets V.N. *Teoriia avtomobilia* [Theory of the car]. Nizhnii Novgorod, NNSTU publ., 2013. 413 p.
- [2] Kopotilov V.I. O kompleksnykh pokazatelyakh toplivno-energeticheskoi effektivnosti avtomobilia [The review criteria of complex indexes of fuel-energy efficiency of motor vehicles]. *Avtomobil'naia promyshlennost'* [Automotive Industry]. 2012, no. 5, pp. 15–17.
- [3] GOST R 54810–2011. *Avtomobil'nye transportnye sredstva. Toplivnaia ekonomichnost'. Metody ispytaniy* [State Standard 54810–2011. Motor vehicles. Fuel economy. Test methods]. Moscow, Standartinform publ., 2012. 23 p.
- [4] Musarskii R.A. Strukturnyi i fraktal'nyi analizy makroprofilei dorog [Structural and fractal analysis of road macroprofiles]. *Avtomobil'naia promyshlennost'* [Automotive Industry]. 2014, no. 2, pp. 28–30.
- [5] Komarov V.V., Turovskii F.V., Bakaleinik A.M. Normirovanie rashkhoda topliva avtomobil'nym transportom v usloviakh neustoichivykh transportnykh potokov [Rationing of fuel consumption by the motor transport in the conditions of unstable transports streams]. *Avtomobil'naia promyshlennost'* [Automotive Industry]. 2013, no. 8, pp. 26–30.
- [6] Gaines L., Vyas A., Anderson J.L. Estimation of Fuel Use by Idling Commercial Trucks. *Submitted for presentation at and inclusion in the compact disc of the 85th Annual Meeting of the Transportation Research Board*, Washington, D.C. January 22–26, 2006. 12 p.
- [7] *Gamma Technologies, Inc.* Available at: <http://www.gtisoft.com> (accessed 10 November 2014).
- [8] Stamatelos A.M., Stapountzis H., Papadimitriou C. Simulation and experimental validation of steady state operation of a turbocharged, common rail HDI Diesel engine running on biodiesel blends. *Tesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science of the Department of Mechanical Engineering University of Thessaly, Volos*, February 2010.

Статья поступила в редакцию 08.12.2014

Информация об авторах

ОГОРОДНОВ Сергей Михайлович (Нижний Новгород) — кандидат технических наук, доцент кафедры «Автомобили и тракторы». ГОУ ВПО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексева» (603950, Нижний Новгород, Российская Федерация, Минина ул., д. 24, e-mail: cte@mail.ru).

ТИХОМИРОВ Александр Николаевич (Нижний Новгород) — кандидат технических наук, доцент кафедры «Энергетические установки и тепловые двигатели». ГОУ ВПО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексева» (603950, Нижний Новгород, Российская Федерация, Минина ул., д. 24, e-mail: alniti@mail.ru).

МАЛЕЕВ Сергей Игоревич (Нижний Новгород) — инженер Научно-исследовательской лаборатории транспортных интеллектуальных систем. ГОУ ВПО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексева» (603950, Нижний Новгород, Российская Федерация, Минина ул., д. 24, e-mail: sergmaleev91@mail.ru).

Information about the authors

OGORODNOV Sergey Mikhaylovich (Nizhny Novgorod) — Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor of «Automobiles and Tractors» Department. Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev (NSTU, Minina str., 24, 603950, Nizhny Novgorod, Russian Federation, e-mail: cte@mail.ru).

TIKHOMIROV Aleksandr Nikolaevich (Nizhny Novgorod) — Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor of «Power Plants and Thermal Engines» Department. Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev (NSTU, Minina str., 24, 603950, Nizhny Novgorod, Russian Federation, e-mail: alniti@mail.ru).

MALEEV Sergey Igorevich (Nizhny Novgorod) — Engineer of Research Laboratory of Transport Intelligent Systems. Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev (NSTU, Minina str., 24, 603950, Nizhny Novgorod, Russian Federation, e-mail: sergmaleev91@mail.ru).



В Издательстве МГТУ им. Н.Э. Баумана
вышел в свет учебник

И.Ф. Кобылкина, В.В. Селиванова

«Материалы и структуры легкой бронезащиты»

Рассмотрен комплекс вопросов, связанных с баллистической стойкостью материалов и защитных структур, предназначенных для индивидуальной и локальной бронезащиты от воздействия высокоскоростных пуль и осколков. Приведены физические и математические модели процессов высокоскоростного взаимодействия пуль и осколков с различными типами бронепреград. Изложены современные представления о механизмах заброневого действия баллистического удара пуль.

Для студентов и аспирантов технических университетов и машиностроительных вузов. Может быть полезен научным работникам, инженерам и военным специалистам, которые занимаются разработкой средств индивидуальной и локальной бронезащиты.

По вопросам приобретения обращайтесь:

105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1.

Тел.: +7 499 263-60-45, факс: +7 499 261-45-97;

press@bmstu.ru; www.baumanpress.ru