

Меньшая окружность, изображенная на рисунке 4, представляет из себя область определения значений изменения центра масс автомобиля с КЭУ (идеальный случай), большая окружность – автомобиля с традиционной системой курсовой устойчивости и АБС (идеальный случай).

Вследствие того, что запас хода на аккумуляторных батареях ограничен, рациональным было бы использовать КЭУ вместе с системой АБС или иметь резерв электроэнергии на случай внештатных ситуаций.

### Заключение

Использование комбинированной энергетической установки вместо или вместе с системой АБС существенно уменьшает тормозной путь автомобиля в случае торможения в экстренной ситуации, что повышает активную безопасность автомобиля.

К недостаткам данного метода можно отнести активное вмешательство системы управления КЭУ в поведение автомобиля, таким образом логика срабатывания данной установки должна быть тщательно изучена и систематизирована в зависимости от входных параметров.

### Литература

1. Дементьев Ю.В., Круташов А.В., Деев О.И. Комбинированная энергетическая установка с функцией несимметричного изменения потока мощности через межколесный дифференциал // Известия МГТУ «МАМИ». – 2014. №3(21). т. 1.
2. Дементьев Ю.В., Круташов А.В., Деев О.И. Логика управления КЭУ и оценка эффективности модульной комбинированной энергетической установки при выборе электродвигателей определенного диапазона мощности. Известия МГТУ «МАМИ». 2014. №3(21). т.1.
3. Бахмутов С.В., Селифонов В.В. Экологически чистый городской автомобиль с гибридной силовой установкой // НТП «Виращ-центр». – 2001. №7.
4. Липпман С., Ладойе Ж., Му Б. С++ программирование, 2007. – 580 с.
5. Дастин Э., Ржшка Дж., Пол Дж. Автоматизированное тестирование программного обеспечения, 2003. – 367 с.
6. Влахова А.В., Новожилов И.В., Смирнов И.А. Математическое моделирование заноса автомобиля // Вестник Московского университета. Сер. 1. Математика. Механика. – 2007. №6.

### **Определение расхода топлива лёгкого коммерческого грузового автомобиля на заданном маршруте**

д.т.н. проф. Кравец В.Н., д.т.н. проф. Мусарский Р.А., Мошков П.С., Торопов Е.И.  
*Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева*  
(+7 831) 462-33-68, [musarsky@list.ru](mailto:musarsky@list.ru)

*Аннотация.* В статье изложены результаты расчёта и экспериментального определения расхода топлива лёгкого коммерческого грузового автомобиля на заданном загородном маршруте движения.

*Ключевые слова:* расход топлива, лёгкий коммерческий грузовой автомобиль, характеристика маршрута движения, динамическая характеристика автомобиля, топливно-экономическая характеристика автомобиля, дорожные испытания автомобиля.

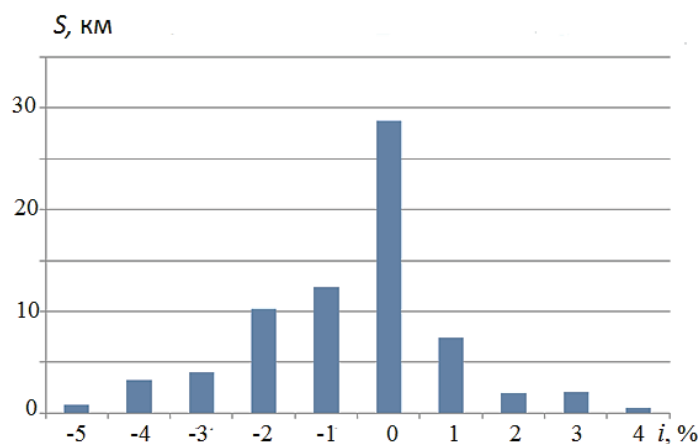
Цель работы – теоретическое и экспериментальное определение расхода топлива лёгкого коммерческого грузового автомобиля на заданном загородном маршруте движения. Объектом исследования является лёгкий коммерческий грузовой автомобиль ГАЗель «Next», относящийся к транспортным средствам категории  $N_1$ .

Конструктивные параметры автомобиля [1]: полная масса  $m_a = 3500$  кг, в том числе: на переднюю ось – 1250 кг, на заднюю – 2250 кг; двигатель Cummins ISF 2.8 дизельный с турбонаддувом, экологического класса Евро5, максимальной мощностью 96,3 кВт при частоте

3600 об/мин, максимальным крутящим моментом 285 Н·м при частоте 2400 об/мин, минимальном удельном расходе топлива 218 г/(кВт·ч), удельным расходом топлива при максимальной мощности 245 г/(кВт·ч); 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 колёс  $r_{ст} = 0,33$  м; динамический радиус  $r_d = 0,33$  м; радиус качения  $r_k = 0,34$  м коэффициент полезного действия трансмиссии  $\eta_{тр} = 0,93$ ; аэродинамические характеристики: коэффициент лобового сопротивления  $c_x = 0,6$ ; площадь миделя  $A_b = 3,6$  м<sup>2</sup>; фактор обтекаемости  $W = 1,32$  Н·с<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>.

Для расчёта расхода топлива при работе автомобиля на заданном маршруте использована методика его графоаналитического определения, предложенная Г.В. Зимелёвым [2, 3]. Графоаналитическое определение расхода топлива выполняют с использованием: 1) характеристики маршрута движения; 2) динамической характеристики автомобиля; 3) топливно-экономической характеристики автомобиля.

Характеристика маршрута движения представляет совокупность участков дороги, имеющих на всей длине  $S_j$  неизменный коэффициент сопротивления дороги  $\psi_j$ . Для исследуемого маршрута Нижний Новгород – Павлово его характеристика построена путём обработки спутниковой информации по методике, изложенной в работе [4]. По данным системы Глонасс / GPS была измерена протяжённость  $S$  отдельных участков маршрута, имеющих постоянные величины продольного уклона  $i$ . Результаты измерений представлены на рисунке 1.



**Рисунок 1. Распределение протяжённости участков маршрута в зависимости от величин их продольного уклона**

При построении характеристики маршрута для каждого значения продольного уклона дороги рассчитаны: угол продольного уклона (рад или град):  $\alpha = \arctg i$  и коэффициент сопротивления дороги:  $\psi = f \cos \alpha \pm \sin \alpha$ , где:  $f = 0,012$  [3] – коэффициент сопротивления качению;  $\alpha$  – угол продольного уклона дороги, рад или град. Знаки «+» – на подъёме, «-» – на спуске. При  $i = 0; 1; 2; 3; 4\%$   $\psi = 0,012; 0,022; 0,032; 0,042; 0,052$ .

Динамическая характеристика автомобиля – это зависимость его динамического фактора  $D$  от скорости движения  $V_a$  на всех передачах трансмиссии:

$$D = \frac{k_c T_e^c u_k u_0 \eta_{тр} / r_d - W V_a^2 / 12,96}{m_a g}; \quad (1)$$

$$V_a = \frac{0,378 n_e r_k}{u_k u_0}, \quad (2)$$

где:  $k_c$  – коэффициент коррекции стендовой характеристики двигателя;  $T_e^c$  – стендовый кру-

тящий момент двигателя, Н·м;  $\eta_{тр}$  – КПД трансмиссии;  $W$  – фактор обтекаемости;  $H \cdot c^2 / m^2$ ;  $V_a$  – скорость автомобиля, км/ч;  $m_a$  – масса автомобиля, кг;  $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;  $n_e$  – частота вращения вала двигателя, об/мин;  $u_k$  и  $u_0$  – передаточные числа коробки передач и главной передачи, соответственно;  $r_d$  и  $r_k$  – динамический радиус и радиус качения ведущих колёс, соответственно, м.

В формулах (1) и (2)  $k_c = 0,95$  [5], частота вращения вала двигателя  $n_{e_{min}} = 1000$  об/мин,  $n_{e_{max}} = 3960$  об/мин.

График динамической характеристики автомобиля показан на рисунке 2. На этот график нанесены численные значения коэффициента сопротивления дороги при всех значениях продольного уклона, взятых из рисунка 1. В точках пересечения величин  $\psi$  с кривыми  $D = f(V_a)$  определены максимальные скорости движения автомобиля  $V_{a_{max}}$ .

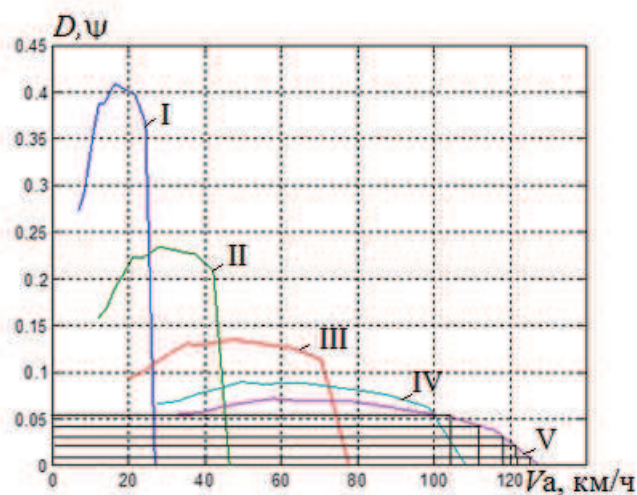


Рисунок 2. Динамическая характеристика автомобиля

Из рисунка 2 следует, что на заданном маршруте, имеющем сравнительно небольшие уклоны, не превышающие 4%, автомобиль имеет возможность двигаться на V передаче коробки передач, максимальный динамический фактор на которой равен 0,07.

Топливо-экономическая характеристика установившегося движения автомобиля представляет зависимость путевого расхода  $Q_s$  от скорости установившегося движения  $V_a = \text{const}$  на дорогах с различными коэффициентами сопротивления  $\psi$ . Характеристика построена по методике, изложенной в работе [6].

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

$$Q_s = \frac{g_d (P_\psi + P_B)}{10 V_a \rho_T k_c \eta_{тр}}, \quad (3)$$

где:  $g_d$  – удельный расход топлива двигателя, г/(кВт·ч);  $P_\psi$  и  $P_B$  – мощности сопротивления дороги и воздуха, соответственно, кВт;  $V_a$  – скорость автомобиля, км/ч;

$\rho_T$  – плотность топлива, кг/л;  $k_c$  – коэффициент коррекции стендовой характеристики двигателя;  $\eta_{тр}$  – КПД трансмиссии.

Удельный расход топлива  $g_d$ , зависящий от скоростного режима и нагрузки двигателя, рассчитан по приближённой аналитической методике, разработанной И.С. Шлиппе [7]:

$$g_d = g_{ep} k_E k_{и}, \quad (4)$$

где:  $g_{ep}$  – удельный эффективный расход топлива двигателя по внешней скоростной характеристике при максимальной мощности, г/(кВт·ч);  $k_E$  и  $k_{и}$  – коэффициенты, учи-

тывающие степень использования угловой скорости (частоты вращения) вала  $E$  и мощности  $I$  двигателя, соответственно.

Поправочные коэффициенты рассчитаны по аналитическим зависимостям, приведённым в работах [8] и [9]:

$$k_E = 1,25 - 0,99E + 0,98E^2 - 0,24E^3; \quad (5)$$

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

Входящие в формулу (3) мощности сопротивления дороги и воздуха (кВт) рассчитаны по формулам:  $P_\psi = \frac{\psi m_a g V_a}{3600}$  и  $P_b = \frac{W V_a^3}{46656}$ , где:  $\psi$  – коэффициент сопротивления дороги;  $m_a$  – масса автомобиля, кг;  $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;  $W$  – фактор обтекаемости, Н·с<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>;  $V_a$  – скорость автомобиля, км/ч.

Скорость автомобиля определена по формуле (2). Мощность сопротивления дороги вычислена при значениях  $\psi = 0,012; 0,022; 0,032; 0,042; 0,052$ . Плотность дизельного топлива  $\rho_T$ , входящая в формулу (3), принята равной 0,82 кг/л [3].

Топливо-экономическая характеристика исследуемого автомобиля при движении на V передаче ( $u_{kV} = 0,849$ ) приведена на рисунке 3.

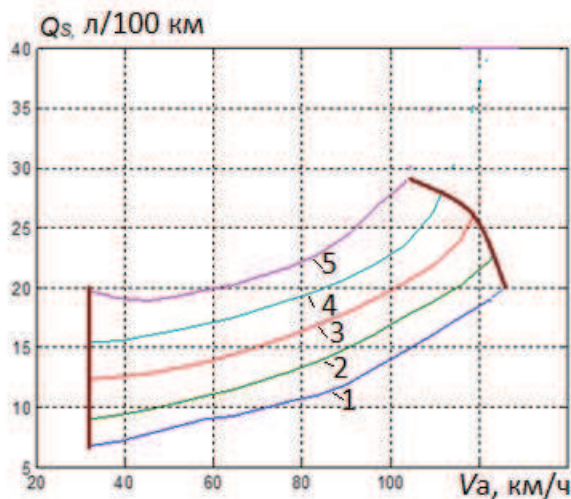


Рисунок 3. Топливо-экономическая характеристика автомобиля на V передаче при коэффициентах сопротивления дороги: 1 – 0,012; 2 – 0,022; 3 – 0,032; 4 – 0,042; 5 – 0,052

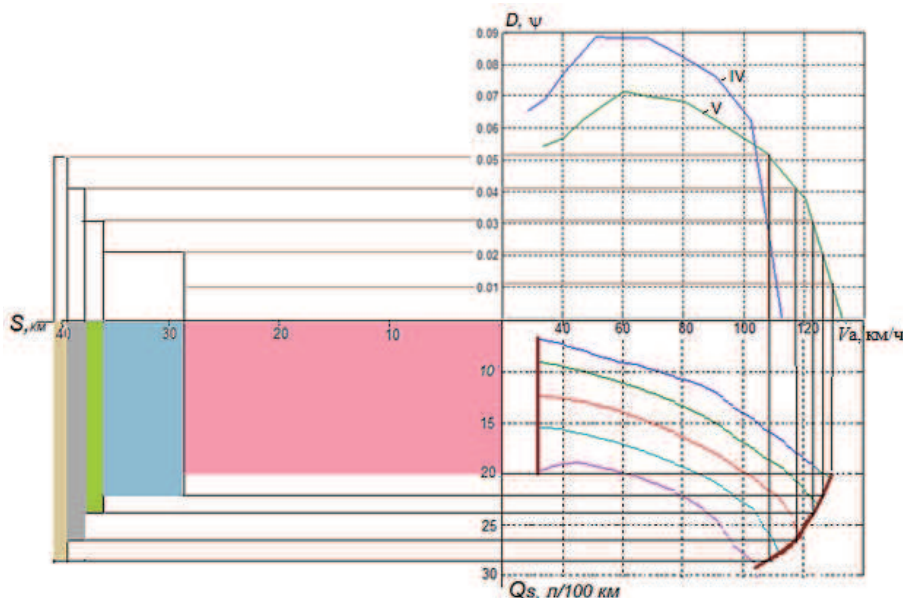


Рисунок 4. Схема определения расхода топлива на заданном маршруте

Рассмотренные выше характеристики были использованы для расчёта расхода топлива на заданном маршруте графоаналитическим методом. На схеме (рисунок 4) топливно-экономическую характеристику  $Q_s = f(V_a)$  располагают в правом нижнем квадранте, динамическую характеристику  $D = f(V_a)$  – в правом верхнем квадранте, характеристику маршрута  $\psi = f(S)$  – в левом верхнем квадранте, причём величины  $D$  и  $\psi$  в верхних квадрантах наносят в одинаковом масштабе. Расчёты выполнены при допущении о том, что на каждом участке дороги с постоянным коэффициентом сопротивления автомобиль движется с максимально возможной скоростью  $V_{a\max}$ .

Площади в левом нижнем квадранте в соответствующем масштабе эквивалентны затратам топлива на каждом участке маршрута  $Q_j = \frac{Q_{sj}S_j}{100}$  (л), где:  $Q_{sj}$  – путевой расход топлива на  $j$ -м участке маршрута, л/100 км;  $S_j$  – протяжённость  $j$ -го участка маршрута, км.

Общий расход топлива на маршруте равен сумме расходов топлива на каждом участке маршрута  $Q = \sum_{j=1}^n Q_{sj}$ , где  $n$  – количество участков маршрута.

Расчёты с использованием изображённой на рисунке 4 схемы показали, что общий расход топлива на маршруте Нижний Новгород – Павлово, протяжённостью 71,3 км, составил 8,3 л. Расход топлива учитывался только при движении автомобиля на горизонтальных участках и на подъёмах.

Для проверки расчётных данных были проведены дорожные испытания автомобиля ГАЗель «Next» на маршруте Нижний Новгород – Павлово.

Подготовка автомобиля к дорожным испытаниям была выполнена в соответствии с требованиями ГОСТ Р 54810 – 2011 [10,11, 12]. Испытания проводились при полной массе автомобиля  $m_a = 3500$  кг.

В процессе испытаний была предусмотрена регистрация следующих параметров: общий пробег, пробег на участке, высота участка над уровнем океана, уклон дороги, номер и длина участка, расход топлива на участке, суммарный общий расход, скорость движения автомобиля, суммарный общий пробег, время движения, положения педали сцепления, дроссельной заслонки и тормоза, проверка холостого хода, массовый расход воздуха, мгновенная топливная экономичность, передаточное число коробки передач, степень использования мощности и частота вращения вала двигателя.

Методика регистрации экспериментальных данных. Во время движения по маршруту производилась запись скорости многофункциональным измерителем скорости, Racelogic LTD, Великобритания; расхода топлива расходомером, Kistler Automotive GmbH, Германия; параметров работы двигателя посредством прибора для сбора данных Tokyo Sokki Kenkyujo Co., Ltd, Япония, включающего: а) модуль управления; б) полномостовой тензометрический модуль; в) CAN модуль; диагностический комплекс CUMMINS Inc., КНР. Регистрация всех параметров осуществлялась посредством персонального компьютера GETAC, КНР. Процесс испытаний фиксировался на автомобильный видеорегистратор SHO-ME, КНР. Связь блока управления CUMMINS с персональным компьютером осуществлялась через шину CAN.

Применение современного измерительного оборудования позволило регистрировать все параметры с высокой точностью.

### Результаты и выводы

1. Применённая авторами методика обработки спутниковой информации позволила получить характеристику маршрута движения автомобиля, необходимую для расчёта расхода топлива.
2. Расчётная величина расхода топлива на исследуемом маршруте Нижний Новгород – Павлово – 8,3 л.
3. При дорожных испытаниях автомобиля расход топлива на заданном маршруте составил

8,36 л.

4. Высокая сходимость результатов теоретического и экспериментального определения расхода топлива на заданном маршруте свидетельствует о возможности использования графоаналитической методики для ориентировочных расчётов показателей топливной экономичности современных автомобилей.
5. Дальнейшее совершенствование использованной в данной работе методики расчёта расхода топлива на заданном маршруте движения следует проводить в следующих направлениях:
  - учитывать расход топлива при разгонах и замедлениях автомобиля;
  - учитывать распределение скоростей движения при прохождении автомобилем заданного маршрута;
  - учитывать время работы на различных ступенях трансмиссии;
  - при расчётах использовать экспериментально определяемые величины коэффициентов сопротивления качению колёс исследуемого автомобиля по реальной опорной поверхности участков маршрута движения.

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

#### Литература

1. Кравец В.Н., Мусарский Р.А. Влияние макропрофиля дороги на показатели тягово-скоростных свойств автомобиля // Вестник ИжГТУ им. М. Т. Калашникова. –2014. – № 3 (63). – С. 4 – 6.
2. Зимелёв Г.В. Теория автомобиля. – М.: Машгиз, 1959. – 312 с.
3. Кравец В.Н., Селифонов В.В. Теория автомобиля. – М.: ООО «Гринлайт+», 2011. – 884 с.
4. Мусарский Р.А. Структурный и фрактальный анализы макропрофиля дорог // Автомобильная промышленность. – 2014. – № 2. – С. 21 – 23.
5. ГОСТ 14846–81. Двигатели автомобильные. Методы стендовых испытаний, – Введён 1982–01–01. – М.: Госкомитет СССР по стандартам: Изд-во стандартов, 2003.
6. Кравец В.Н., Мусарский Р.А. Влияние макропрофиля дороги на расход топлива грузового автомобиля // Труды НГТУ им. Р. Е. Алексеева. – 2014. – № 4(106). – С. 196 – 200.
7. Иларионов В.А. Эксплуатационные свойства автомобиля: теоретический анализ. – М.: Машиностроение, 1966. – 280 с.
8. Гришкевич А.И. Автомобили: теория. – Минск: Вышэйшая школа, 1986 – 208 с.
9. Песков В.И., Сердюк В.И., Сердюк А.Е. Совершенствование эксплуатационных качеств автомобиля. – Нижний Новгород: НГТУ им. Р.Е. Алексеева, 2009. – 135 с.
10. ГОСТ Р 54810–2011. Автомобильные транспортные средства. Топливная экономичность. Методы испытаний. – Введ. 2012–09–01. – М.: Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии: Стандартинформ, 2012.
11. Кравец В.Н. Измерители эксплуатационных свойств автотранспортных средств. – 2-е изд., перераб. и доп. – Нижний Новгород: НГТУ им. Р.Е. Алексеева, 2014. – 157 с.
12. Огороднов С.М., Тихомиров А.Н., Шаров Д.В. Исследование расхода топлива лёгкого коммерческого автомобиля ГАЗель«Next» экспериментальным методом // Труды НГТУ им. Р. Е. Алексеева. – 2014. – № 2 (104). – С.131 – 139.