

УДК 629.113.01-585

В.Н. Кравец, Р.А. Мусарский**ЗАВИСИМОСТЬ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТОПЛИВНОЙ ЭКОНОМИЧНОСТИ ГРУЗОВОГО АВТОМОБИЛЯ ОТ ПАРАМЕТРОВ ЕГО ТРАНСМИССИИ**

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Разработана методика определения показателей топливной экономичности автомобиля и установления влияния конструктивных параметров трансмиссии на показатели топливной экономичности модернизированного грузового автомобиля ГАЗон Next 10. Оценка топливной экономичности автомобиля выполнена по единичным показателям: путевым расходам топлива при заданных скоростях, удельному контрольному расходу топлива, эксплуатационному расходу топлива при эксплуатационных скоростях. Названные показатели определены по графикам топливно-экономических характеристик установившегося движения автомобиля. Изложены методики построения названных графиков и определения по ним показателей топливной экономичности автомобиля. Установлено, что изменение параметров трансмиссии практически не влияет на эксплуатационный расход топлива автомобиля. Полученные в работе результаты и выводы позволяют изготовителю более обоснованно подойти к выбору параметров трансмиссии автомобиля ГАЗон Next 10.

Ключевые слова: грузовой автомобиль, трансмиссия автомобиля, механическая ступенчатая коробка передач, главная передача, топливная экономичность автомобиля, показатели топливной экономичности, путевой расход топлива, удельный контрольный расход топлива, эксплуатационный расход топлива, топливно-экономическая характеристика установившегося движения.

Обоснование необходимости и цели работы

В 2014 г. Горьковский автомобильный завод (группа ГАЗ) в Нижнем Новгороде освоил производство семейства грузовых автомобилей среднего класса пятого поколения ГАЗон Next грузоподъемностью 5 т и полной массой 8,7 т. В 2018 г. предприятие произвело модернизацию семейства среднетоннажных автомобилей. Для повышения производительности и снижения себестоимости перевозок грузоподъемность базовой модели семейства была повышена до 6,2 т, в связи с чем полная масса возросла до 10 т, поэтому модернизированная модель получила обозначение ГАЗон Next 10. На этой модели установлен двигатель ЯМЗ-53445, максимальная мощность которого на 15 % выше, чем у предшествующего аналога. Предполагается замена пятиступенчатой коробки передач на шестиступенчатую с шестой повышающей ступенью и установка двух вариантов главной передачи с передаточными числами 3,9 и 4,55. Вместо шин 8,25R20 на неполноприводных модификациях предусмотрена установка низкопрофильных шин 265/70R19,5.

Изменение параметров двигателя, трансмиссии и размерности шин окажет влияние на показатели не только тягово-скоростных свойств [1], но и топливной экономичности модернизированной модели.

С учетом изложенного были определены цели работы:

- 1) разработка методики определения показателей топливной экономичности грузового автомобиля;
- 2) установление влияния конструктивных параметров трансмиссии на показатели топливной экономичности модернизированного грузового автомобиля.

Методика выполнения работы

Объектом исследования является транспортное средство категории N₂ по международной и отечественной классификации автотранспортных средств – грузовой автомобиль

ГАЗон Next 10. Исследование выполнено на основе следующих исходных данных, предоставленных конструкторами Группы ГАЗ:

- полная масса $m_a = 10\,000$ кг;
- грузоподъемность $m_t = 6\,200$ кг;
- двигатель дизельный с турбонаддувом ЯМЗ-53445-20, максимальная стендовая мощность $P_{\text{етmax}}^c = 125$ кВт (170 л.с.) при частоте вращения $n_{ep} = 2300$ об/мин, максимальный стендовый крутящий момент двигателя $T_{\text{етmax}}^c = 650$ Н·м при частоте $n_{eT} = 1200 \dots 1600$ об/мин, минимальный удельный эффективный расход топлива двигателя $g_{e\text{min}}^c = 194$ г/(кВт·ч) при частоте $n_{eg} = 1200$ об/мин, удельный эффективный расход топлива двигателя при максимальной мощности $g_{ep}^c = 218$ г/(кВт·ч) при частоте $n_{ep} = 2300$ об/мин;
- коэффициент коррекции стендовой характеристики двигателя $k_c = 0,95$;
- коробка передач механическая ступенчатая с двумя вариантами передаточных чисел:
 - 1) вариант 1 – пятиступенчатая с передаточными числами $u_{кI} = 6,555$; $u_{кII} = 3,933$; $u_{кIII} = 2,376$; $u_{кIV} = 1,442$; $u_{кV} = 1,000$;
 - 2) вариант 2 – шестиступенчатая с передаточными числами $u_{кI} = 6,555$; $u_{кII} = 3,933$; $u_{кIII} = 2,376$; $u_{кIV} = 1,442$; $u_{кV} = 1,000$; $u_{кVI} = 0,782$;
- главная передача с двумя вариантами передаточных чисел:
 - 1) вариант 1 – $u_0 = 3,9$;
 - 2) вариант 2 – $u_0 = 4,55$;
- коэффициент полезного действия трансмиссии $\eta_{\text{TP}} = 0,87$;
- шины бескамерные низкопрофильные 265/70R19,5, статический радиус колес $r_{\text{ст}} = 0,421$ м, динамический радиус колес $r_{\text{д}} = 0,421$ м, радиус качения колес $r_{\text{к}} = 0,438$ м;
- коэффициент сопротивления качению $f = 0,01$;
- параметры обтекаемости: коэффициент обтекаемости $c_x = 0,7$; плотность воздуха $\rho_{\text{в}} = 1,225$ кг/м³; площадь миделя $A_{\text{в}} = 4,15$ м²; фактор обтекаемости $W = 1,78$ (Н·с²)/м²;
- плотность дизельного топлива $\rho_{\text{т}} = 860$ кг/м³.

Оценка топливной экономичности исследуемого автомобиля выполнена с использованием единичных показателей, содержащихся в нормативных документах [2-4]:

- 1) расходов топлива при заданных скоростях Q_{S1} и Q_{S2} ;
- 2) удельного контрольного расхода топлива грузового автомобиля $Q_{Wк}$;
- 3) эксплуатационного расхода топлива $Q_{Sэ,р}$.

Для определения названных показателей были рассчитаны и построены графики топливно-экономических характеристик установившегося движения при различных значениях конструктивных параметров трансмиссии.

Топливоно-экономическая характеристика установившегося движения представляет зависимость путевого расхода топлива Q_S от скорости V_a при установившемся движении ($V_a = \text{const}$) на дорогах с различными коэффициентами сопротивления [7].

Методика расчета и построения топливно-экономических характеристик автомобиля изложена в учебной литературе по теории автомобиля [5-8]. При выполнении настоящей ра-

боты ее авторы усовершенствовали известную методику с целью повышения точности и удобства выполнения расчетов.

В существующих методиках при расчете путевого расхода топлива отдельно учитывают влияние на него внешних и внутренних сил сопротивления. Авторами предложено вести расчет расхода топлива с использованием мощности нагрузки двигателя. Мощность нагрузки двигателя – это мощность, необходимая для преодоления всех внешних и внутренних сил сопротивления движению автомобиля. Ее рассчитывают по формуле (кВт) (1):

$$P_d = \frac{P_\psi + P_b + P_a + P_s}{k_c \eta_{тр}}, \quad (1)$$

где P_ψ – мощность, затрачиваемая на преодоление сопротивления дороги, кВт; P_b – мощность, затрачиваемая на преодоление сопротивления воздуха, кВт; P_a – мощность, затрачиваемая на преодоление сопротивления разгону, кВт; P_s – мощность, затрачиваемая на буксование ведущих колес, кВт; k_c – коэффициент коррекции стендовой характеристики двигателя, учитывающий затраты мощности на привод вспомогательного оборудования двигателя и систем шасси автомобиля; $\eta_{тр}$ – КПД трансмиссии, учитывающий потери мощности в трансмиссии.

При расчете топливно-экономической характеристики установившегося движения, когда скорость постоянна, $P_a = 0$. При движении автомобиля по твердой сухой опорной поверхности вероятность буксования ведущих колес минимальна, поэтому $P_s = 0$. Использование при расчете путевого расхода топлива мощности нагрузки двигателя обеспечивает возможность определения степени использования мощности двигателя, которая необходима для нахождения удельного расхода топлива двигателя по его дроссельной характеристике и по приближенной аналитической методике.

Путевой расход топлива зависит от удельного расхода топлива двигателя g_d . Удельный расход топлива двигателя – величина переменная, зависящая от частоты вращения вала и нагрузки двигателя. В данной работе удельный расход топлива двигателя был определен по приближенной аналитической методике. Второе усовершенствование методики заключалось в более точном определении удельного расхода топлива двигателя по приближенной аналитической методике, согласно которой его рассчитывают [г/(кВт·ч)] по выражению (2):

$$g_d = g_{ep}^c k_E k_H, \quad (2)$$

где g_{ep}^c – удельный эффективный расход топлива при максимальной мощности $P_{e\max}^c$, [г/(кВт·ч)]; k_E – коэффициент, учитывающий степень использования частоты вращения вала двигателя; k_H – коэффициент, учитывающий степень использования мощности двигателя.

Наличие на графике внешней скоростной характеристики двигателя зависимости $g_e^c = f(n_e)$ позволило определить точное значение удельного расхода топлива при максимальной мощности $g_{ep}^c = 218$ г/(кВт·ч), что в 1,1 раза больше минимального удельного расхода двигателя, равного 194 г/(кВт·ч).

Аналитические зависимости $k_E = f(E)$ и $k_H = f(I)$, предложенные в 1980-х гг. А.И. Гришкевичем [9], в настоящее время для автомобильных двигателей дают неудовлетворительные результаты при расчете $k_H = f(I)$. В связи с этим авторы приняли решение при расчете зависимости $k_E = f(E)$ принять полином третьего порядка, предложенный А.И. Гришкевичем (3):

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

а при расчете зависимости $k_{\text{И}} = f(\text{И})$ использовать полином пятого порядка, введенный в теорию автомобиля В.И. Песковым [10] для дизельных двигателей (4):

$$k_{\text{И}} = 3,52 - 17,24\text{И} + 44,85\text{И}^2 - 55,28\text{И}^3 + 31,23\text{И}^4 - 6,08\text{И}^5 \quad (4)$$

Топливо-экономические характеристики строят при нескольких значениях коэффициента сопротивления дороги. Начальное значение этого коэффициента ψ_1 должно соответствовать движению автомобиля по горизонтальной ровной дороге с твердым асфальтобетонным или цементобетонным покрытием. В этих дорожных условиях коэффициент сопротивления дороги равен коэффициенту сопротивления качению: $\psi_1 = f = 0,01$. Конечное значение коэффициента сопротивления дороги $\psi_{v_{\text{max}}} = D_{\text{max}}$, где D_{max} – максимальный динамический фактор автомобиля на расчетной передаче. Его находят по формуле (5):

$$D_{\text{max}} = \frac{\frac{k_c T_{e_{\text{max}}}^c u_k u_d u_0 \eta_{\text{тр}}}{r_d} - \frac{WV_{a_{\text{кр}}}^2}{12,96}}{m_a g}, \quad (5)$$

где $V_{a_{\text{кр}}}$ – критическая скорость по динамической характеристике автомобиля, км/ч. В диапазоне между начальным ψ_1 и конечным $\psi_{v_{\text{max}}}$ значениями коэффициента сопротивления дороги выбирают несколько промежуточных значений $\psi_2, \psi_3, \dots, \psi_m$ с интервалом не более 0,01.

На рис. 1-4 показаны топливо-экономические характеристики автомобиля ГАЗон Next 10 при различных значениях конструктивных параметров трансмиссии.

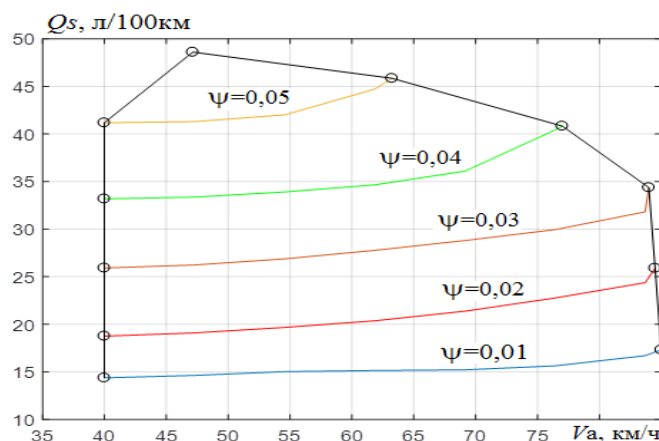


Рис. 1. Топливо-экономическая характеристика на пятой ступени автомобиля с пятиступенчатой коробкой передач и передаточным числом главной передачи 4,55

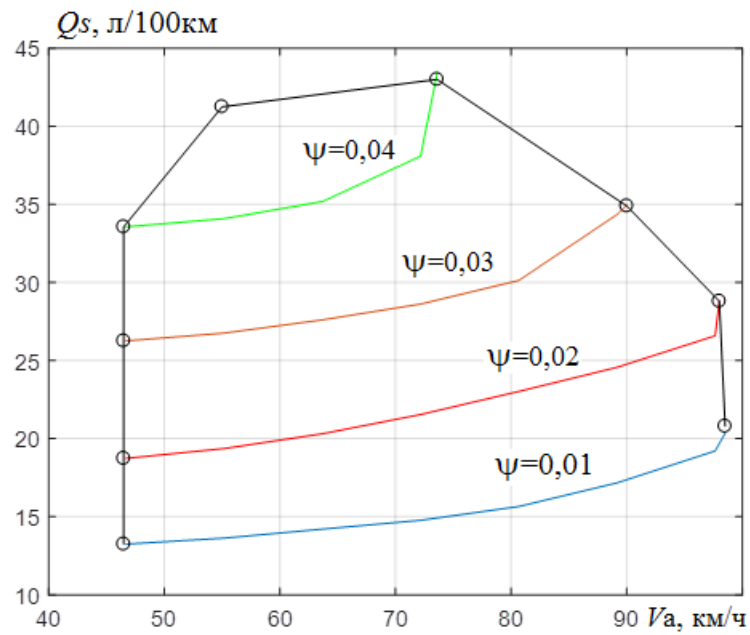


Рис. 2. Топливо-экономическая характеристика на пятой ступени автомобиля с пятиступенчатой коробкой передач и передаточным числом главной передачи 3,9

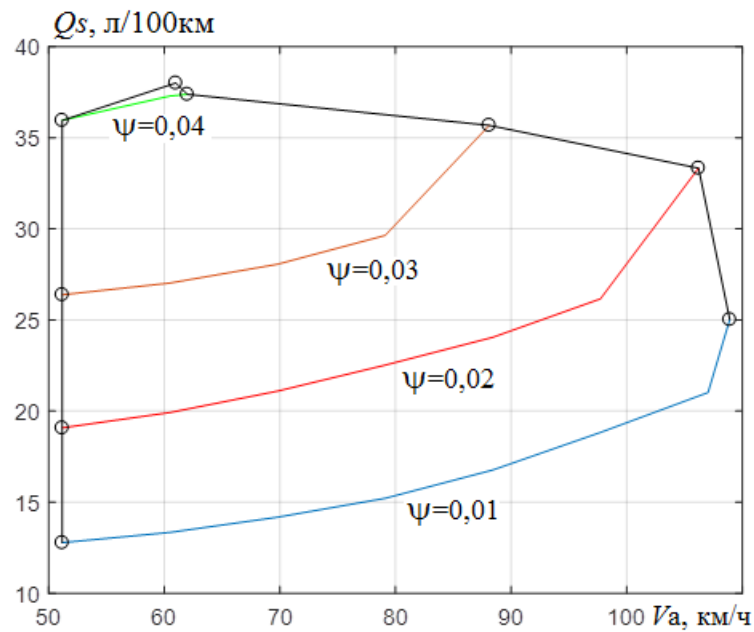


Рис. 3. Топливо-экономическая характеристика на шестой ступени автомобиля с шестиступенчатой коробкой передач и передаточным числом главной передачи 4,55

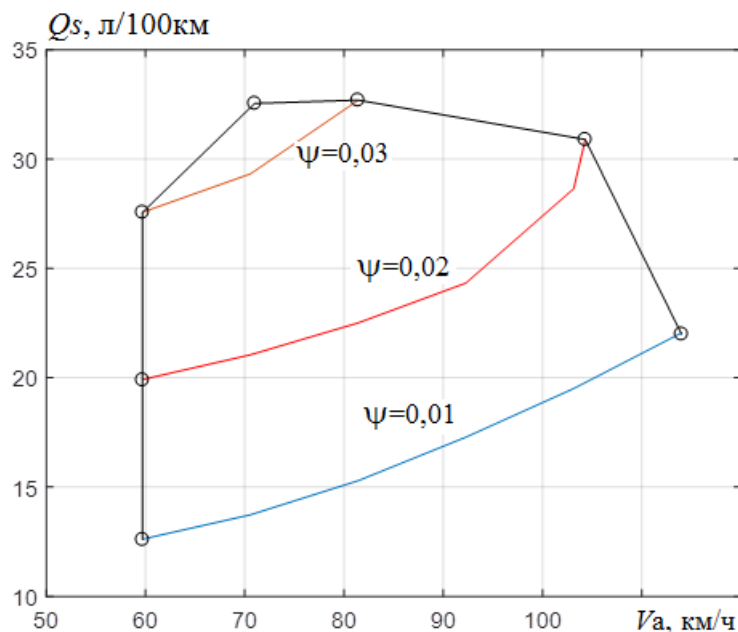


Рис. 4. Топливо-экономическая характеристика на шестой ступени автомобиля с шестиступенчатой коробкой передач и передаточным числом главной передачи 3,9

Согласно ГОСТ 54810-2011, для транспортных средств категории N₂ устанавливают заданные скорости 60 и 80 км/ч. Путевой расход топлива при заданных скоростях движения определяют по графику топливо-экономической характеристики при коэффициенте сопротивления дороги ψ_1 (рис. 5).

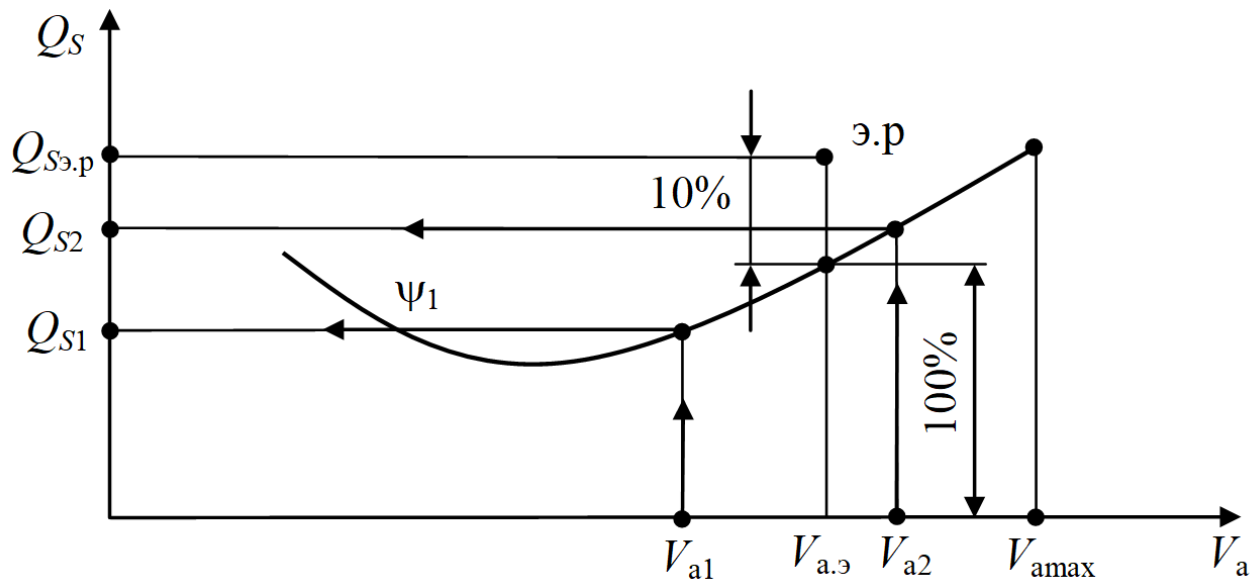


Рис. 5. Методика определения путевого расхода топлива при заданных скоростях движения и эксплуатационного расхода топлива грузового автомобиля

Удельный контрольный расход топлива транспортного средства категории N₂ – грузового автомобиля полной массой более 3,5 т [л/(100 т · км)] определяют по выражению (6):

$$Q_{\text{вк}} = \frac{Q_{\text{СК}}}{m_{\text{т}}}, \quad (6)$$

где $Q_{СК}$ – контрольный путевой расход топлива при заданной скорости 60 км/ч, л/100 км;
 m_T – грузоподъемность автомобиля, т.

Эксплуатационный расход топлива $Q_{Sэ,р}$ (рис. 5) примерно на 10 % больше расхода топлива по топливно-экономической характеристике установившегося движения по горизонтальной ровной дороге с твердым покрытием при эксплуатационной скорости $V_{а.э}$, которая для автомобиля с двигателем с воспламенением от сжатия составляет три четверти максимальной $V_{а.макс}$.

Результаты исследования

В табл. 1 показана зависимость путевого расхода топлива от параметров трансмиссии автомобиля при заданных скоростях движения.

Таблица 1

Зависимость путевого расхода топлива от параметров трансмиссии при заданных скоростях движения

Заданные скорости, км/ч	Путевой расход топлива, л/100 км, при параметрах трансмиссии			
	$u_{кV} = 1,000$ $u_0 = 4,55$	$u_{кV} = 1,000$ $u_0 = 3,9$	$u_{кVI} = 0,782$ $u_0 = 4,55$	$u_{кVI} = 0,782$ $u_0 = 3,9$
60	15,0	14,0	13,4	12,5
80	16,3	15,7	15,4	15,0

В табл. 2 приведен удельный контрольный расход топлива грузового автомобиля при различных значениях параметров трансмиссии.

Таблица 2

Удельный контрольный расход топлива автомобиля

Удельный контрольный расход топлива, л/(100 т · км), при скорости 60 км/ч и параметрах трансмиссии			
$u_{кV} = 1,000$ $u_0 = 4,55$	$u_{кV} = 1,000$ $u_0 = 3,9$	$u_{кVI} = 0,782$ $u_0 = 4,55$	$u_{кVI} = 0,782$ $u_0 = 3,9$
2,42	2,26	2,16	2,02

В табл. 3 содержатся данные об эксплуатационном расходе топлива и эксплуатационной скорости автомобиля при различных величинах конструктивных параметров трансмиссии.

Таблица 3

Эксплуатационный расход топлива и эксплуатационная скорость грузового автомобиля

Параметры трансмиссии							
$u_{кV}=1,000$ $u_0=4,55$		$u_{кV}=1,000$ $u_0=3,9$		$u_{кVI}=0,782$ $u_0=4,55$		$u_{кVI}=0,782$ $u_0=3,9$	
Эксплуатационный расход топлива и скорость							
$Q_{Sэ,р}$, л/100 км	$V_{а.э}$, км/ч	$Q_{Sэ,р}$, л/100 км	$V_{а.э}$, км/ч	$Q_{Sэ,р}$, л/100 км	$V_{а.э}$, км/ч	$Q_{Sэ,р}$, л/100 км	$V_{а.э}$, км/ч
17,0	63,8	16,5	73,7	71,2	81,0	17,0	85,5

Выводы

1. Наименьший путевой расход топлива автомобиля составляет при передаточном числе главной передачи 3,9 и на шестой повышающей ступени шестиступенчатой коробки передач: 12,5 л/100 км при скорости 60 км/ч и 15,0 л/100 км при скорости 80 км/ч. Наибольшее количество топлива на 100 км пути расходует автомобиль

при передаточном числе главной передаче 4,55 и на пятой прямой ступени пятиступенчатой коробки передач: 15,0 л/100 км при скорости 60 км/ч и 16,3 л/100 км при скорости 80 км/ч.

2. Снижение передаточного числа главной передачи с 4,55 до 3,9 (на 14,3 %) уменьшило путевой расход топлива автомобиля с пятиступенчатой коробкой передач на пятой ступени при скорости 60 км/ч с 15,0 до 14,0 л/100 км (на 6,7 %) и при скорости 80 км/ч с 16,3 до 15,7 л/100 км (на 3,7 %), а у автомобиля с шестиступенчатой коробкой передач на шестой ступени при скорости 60 км/ч с 13,4 до 12,5 л/100 км (на 6,7 %) и при скорости 80 км/ч с 15,4 до 15,0 л/100 км (на 2,3 %).
3. Удельный контрольный расход топлива при скорости 60 км/ч при различных значениях передаточных чисел главной передачи и коробки передач изменяется в пределах от 2,02 до 2,42 л / (100 т · км), т.е., на 16,5 %.
4. Изменение параметров трансмиссии несущественно влияет на эксплуатационный расход топлива автомобиля, который изменяется в пределах от 16,5 до 17,2 л/100 км (на 4 %).
5. Полученные в данной работе результаты и выводы позволяют изготовителю более обоснованно подойти к выбору параметров трансмиссии модернизируемой модели грузового автомобиля ГАЗон Next 10.

Библиографический список

1. **Кравец, В.Н.** Влияние параметров трансмиссии на показатели тягово-скоростных свойств грузового автомобиля / В.Н. Кравец, Р.А. Мусарский, А.В. Тумасов. // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – 2019. – №3 (126). – С. 145-153.
2. ГОСТ Р 54810 – 2011. Автомобильные транспортные средства. Топливная экономичность. Методы испытаний. – Введен 2012-09-01. – М.: Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии: Стандадартинформ, 2012. – 22 с.
3. ГОСТ 4.401–88. Автомобили грузовые. Номенклатура показателей. – Взамен ГОСТ 4.401–85; введ. 1989–01–01. – М.: Госкомитет СССР по стандартам: Изд-во стандартов, 9 с.
4. **Кравец, В.Н.** Измерители эксплуатационных свойств автотранспортных средств: учеб. пособие / В.Н. Кравец. – Н. Новгород: НГТУ им. Р.Е. Алексеева, 2014. – 157 с.
5. **Тарасик, В.П.** Теория движения автомобиля: учеб. для вузов / В.П. Тарасик. – СПб: БХВ – Петербург, 2006. – 478 с.
6. **Ларин, В.В.** Теория движения полноприводных колесных машин: учеб. / В.В. Ларин. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. – 391 с.
7. **Кравец, В.Н.** Теория автомобиля: учеб. для вузов / В.Н. Кравец, В.В. Селифонов. – М.: ООО «Гринлайт+», 2011. – 884 с.
8. Автомобили: Теория эксплуатационных свойств: учеб. для студентов учреждений высш. проф. образования / А.М. Иванов, А.Н. Нарбут, А.С. Паршин [и др.]; под ред. А. М. Иванова. – М.: ИЦ «Академия», 2013. – 176 с.
9. **Гришкевич, А.И.** Автомобили: теория: учеб. для вузов / А.И. Гришкевич. – Минск: Высшая школа, 1986. – 208 с.
10. **Песков, В.И.** Расчетные исследования эксплуатационных характеристик автомобиля: монография / В.И. Песков, Н.А. Кузьмин. – Н. Новгород: НГТУ им. Р.Е. Алексеева, 2018. – 212 с.

*Дата поступления
в редакцию: 22.10.2019*

V.N. Kravets, R.A. Musarsky

**DEPENDENCE OF INDICATORS OF FUEL ECONOMY OF THE TRUCK
ON PARAMETERS OF ITS TRANSMISSION**

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

Purpose: Development of a method for determining the fuel economy of a car and establishing the influence of the design parameters of the transmission on the fuel economy of a truck.

Design/methodology / approach: The determination of individual indicators of the fuel economy of the vehicle under study - the traveling fuel consumption at given speeds, the specific control fuel consumption and the operating fuel consumption was carried out on the basis of calculated and constructed graphs of the fuel and economic characteristics of the steady movement at various values of the transmission parameters.

Findings: Influence of gear ratios of five- and six-speed transmissions and gear ratio of the main transmission on single indicators of fuel economy of the truck is established.

Research limitations/implications: The error in determining the indicators of fuel efficiency, identified by the graphs of the fuel and economic characteristics of the car, is greater than in comparison with analytical methods for determining these indicators.

Originality/value: The novelty of the results is that the subject of the study is a new modification of the middle-class truck of the GAZ Group. The study will allow the manufacturer to more reasonably approach the choice of transmission parameters of the truck Lawn Next 10.

Key words: truck, vehicle transmission, manual speed transmission, main gear, fuel efficiency, fuel efficiency indicators, travel fuel consumption, specific control fuel consumption, operational fuel consumption, fuel and economic characteristics of steady motion.