

УДК 629.113.001-585

DOI: 10.46960/1816-210X\_2022\_3\_75

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПЕРЕДАТОЧНЫХ ЧИСЕЛ ТРАНСМИССИИ НА ПОКАЗАТЕЛИ ТЯГОВО-СКОРОСТНЫХ И ТОПЛИВНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ АВТОБУСА

**А.А. Колин**

ORCID: 0000-0001-5151-0260 e-mail: kolinaa@nntu.ru

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева  
*Нижний Новгород, Россия***В.Н. Кравец**

ORCID: 0000-0001-6429-2928 e-mail: vnkravets@yandex.ru

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева  
*Нижний Новгород, Россия***Р.А. Мусарский**

ORCID: 0000-0003-0828-7758 e-mail: musarsky@list.ru

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева  
*Нижний Новгород, Россия***А.В. Тумасов**

ORCID: 0000-0002-3766-4615 e-mail: anton.tumasov@nntu.ru

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева  
*Нижний Новгород, Россия***В.Н. Наумов**

ORCID: 0000-0001-5172-0364 e-mail: vn.naumov1941@yandex.ru

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана  
*Москва, Россия***В.Ф. Кулепов**

ORCID: 0000-0002-8319-3973 e-mail: kulepov@dpingtu.ru

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева  
*Нижний Новгород, Россия***Л.Н. Орлов**

ORCID: 0000-0003-4852-1174 e-mail: lev.n.orlov@mail.ru

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева  
*Нижний Новгород, Россия*

Исследуются зависимости показателей тягово-скоростных свойств и единичных показателей топливной экономичности от передаточных чисел агрегатов трансмиссии. Актуальность работы обусловлена необходимостью изучения влияния параметров двигателя и трансмиссии на показатели тягово-скоростных свойств автобусов *ГАЗ Вектор Next 10*. Данное семейство было разработано объединенным инженерным центром Группы ГАЗ на базе модернизированной модели грузового автомобиля *ГАЗон Next 10* для Павловского автобусного завода. На новых автобусах установлен более мощный дизельный двигатель и два варианта агрегатов трансмиссии: пяти- и шестиступенчатая коробки передач, главные передачи с передаточными числами 3,9 и 4,55.

Оценка тягово-скоростных свойств автобуса выполнена с использованием единичных показателей: наибольшей скорости, времени движения на пути 400 и 1000 м, времени достижения скорости 60 км/ч, наибольшего преодолеваемого уклона дороги, наибольшего ускорения разгона на низшей и высшей ступенях коробки передач, удельной мощности. Оценка топливно-экономических свойств выполнена с использованием

единичных показателей: расхода топлива на постоянных скоростях (60-80 км/ч), расхода топлива в городском цикле. Показано, что при снижении передаточного числа главной передачи увеличивается наибольшая скорость автобуса с обоими вариантами коробок передач и уменьшается преодолеваемый автобусом наибольший угол подъема, а также наибольшее ускорение при разгоне на низшей и высшей ступенях трансмиссии. Предложенная оптимизированная шестиступенчатая коробка переключения передач позволяет снизить расход топлива на 3,4 % в городском цикле.

**Ключевые слова:** автобус, трансмиссия автобуса, механическая ступенчатая коробка передач, главная передача, тягово-скоростные свойства автобуса, единичные показатели тягово-скоростных свойств, единичные показатели топливно-экономических свойств.

**ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:** Колин, А.А. Исследование влияния передаточных чисел трансмиссии на показатели тягово-скоростных и топливно-экономических свойств автобуса / А.А. Колин, В.Н. Кравец, Р.А. Мусарский, А.В. Тумасов, В.Н. Наумов, В.Ф. Кулепов, Л.Н. Орлов // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2022. № 3. С. 75-83. DOI: 10.46960/1816-210X\_2022\_3\_75

## **STUDY OF EFFECT OF TRANSMISSION GEAR RATIOS ON INDICATORS OF TRACTION-SPEED AND FUEL-ECONOMY PROPERTIES OF A BUS**

**A.A. Kolin**

ORCID: **0000-0001-5151-0260** e-mail: **kolinaa@nntu.ru**  
Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alekseev  
*Nizhny Novgorod, Russia*

**V.N. Kravets**

ORCID: **0000-0001-6429-2928** e-mail: **vnkravets@yandex.ru**  
Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alekseev  
*Nizhny Novgorod, Russia*

**R.A. Musarskiy**

ORCID: **0000-0003-0828-7758** e-mail: **musarsky@list.ru**  
Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alekseev  
*Nizhny Novgorod, Russia*

**A.V. Tumasov**

ORCID: **0000-0002-3766-4615** e-mail: **anton.tumasov@nntu.ru**  
Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alekseev  
*Nizhny Novgorod, Russia*

**V.N. Naumov**

ORCID: **0000-0001-5172-0364** e-mail: **vn.naumov1941@yandex.ru**  
Bauman Moscow State Technical University  
Moscow, Russia

**V.F. Kulepov**

ORCID: **0000-0002-8319-3973** e-mail: **kulepov@dpingtu.ru**  
Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alekseev  
*Nizhny Novgorod, Russia*

**L.N. Orlov**

ORCID: **0000-0003-4852-1174** e-mail: **lev.n.orlov@mail.ru**  
Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alekseev  
*Nizhny Novgorod, Russia*

**Abstract.** Dependences of indicators of traction-speed properties and fuel efficiency single indicators on gear ratios of transmission units are studied. Relevance of the work is due to the effect of engine and transmission parameters on the traction and speed properties indicators of GAZ Vector Next 10 buses. This family of buses was developed by the GAZ Group joint engineering center on the basis of the upgraded version of GAZon Next 10 truck for Pavlovo Bus Plant. Buses of the new family have a more powerful diesel engine and two options of transmission units: five- and six-speed gearboxes, main gears with gear ratios of 3.9 and 4.55.

Assessment of the traction and speed properties of the bus was carried out using single indicators: the highest speed, travel time on the path of 400 and 1000 m, time to reach a speed of 60 km/h, greatest overcome road slope, greatest acceleration with speedup at lowest and highest gearbox steps, specific power. Assessment of fuel and economy properties was carried out using single indicators: fuel consumptions at constant speeds (60-80 km/h), fuel consumption in urban cycle. It is shown that, when the gear ratio of main gear is decreased, the highest speed of the bus with both options of gearbox increases, and the greatest ascent angle overcome by the bus decreases, as well as the greatest acceleration with speedup at lowest and highest transmission steps. Proposed optimized six-speed gearbox allows to reduce fuel consumption by 3.4 % in the urban cycle.

**Key words:** bus, bus transmission, manual step-by-step gearbox, main gear, traction and speed properties of a bus, single indicators of traction and speed properties, single indicators of fuel and economy properties.

**FOR CITATION:** A.A. Kolin, V.N. Kravets, R.A. Musarskiy, A.V. Tumasov, V.N. Naumov, V.F. Kulepov, L.N. Orlov. Study of effect of transmission gear ratios on indicators of traction-speed and fuel-economy properties of a bus. Transactions of NNSTU n.a. R.E. Alekseev. 2022. № 3. Pp. 75-83. DOI: 10.46960/1816-210X\_2022\_3\_75

## Введение

В 2014 г. на Горьковском автомобильном заводе начался выпуск модельного ряда автомобилей *ГАЗон Next* категории  $N_2$ , с различным исполнением, полной массой 8,7 т. Используя шасси и агрегаты базовой модели, конструкторы ОИЦ Группы ГАЗ разработали автобус малого класса *ГАЗ Вектор Next*, предназначенный для выпуска на Павловском автобусном заводе; в начале осени 2015 г. он был представлен на автомобильной выставке в Москве. В середине 2016 г. Павловский автобусный завод начал выпуск семейства автобусов данного класса габаритной длиной от 7,1 м до 8,8 м. В 2018 г. ОИЦ Группы ГАЗ осуществил модернизацию грузового автомобиля путем увеличения грузоподъемности до 6,2 т. Таким образом была получена модернизированная модель с увеличенной полной массой до 10 т. Разработка получила наименование *ГАЗон Next 10* и была оснащена дизельным двигателем ЯМЗ-53445, в сочетании с двумя вариантами КПП и главных передач:

На шасси модернизированной модели грузового автомобиля создана базовая модель автобуса *ГАЗ Вектор Next 10*, которая послужила основой нового семейства автобусов, предназначенных для городских, пригородных и междугородных пассажирских перевозок. Городские автобусы выпускаются в трех комплектациях – стандартной, школьной и люкс. Изменение мощности двигателя и параметров агрегатов трансмиссии оказало влияние на показатели тягово-скоростных свойств нового семейства автобусов малого класса. С учетом изложенных обстоятельств была сформулирована цель исследования: изучение зависимости показателей тягово-скоростных свойств и единичных показателей топливной экономичности от передаточных чисел агрегатов трансмиссии. Данная работа актуальна и своевременна, о чем свидетельствуют ранее выполненные исследования [1, 2].

В качестве исходных данных табл. 1 были выбраны параметры и характеристики стандартной комплектации городского автобуса *ГАЗ Вектор Next 10*. Оценка тягово-скоростных свойств автобуса выполнена с использованием единичных (частных) показателей, приведенных в международных и национальных нормативных документах [3, 4]:

- 1) наибольшей скорости  $V_{max}$ ;
- 2) времени движения на пути 400 м и 1000 м  $t_{400}$  и  $t_{1000}$ ;
- 3) времени достижения скорости 60 км / ч  $t_{60}$ ;
- 4) наибольшего преодолеваемого автобусом подъема дороги  $i$  %;

- 5) наибольшего ускорения разгона на низшей и высшей ступенях коробки передач  $a_{a1max}$ ,  $a_{aVmax}$ ,  $a_{aVI max}$ ;
- б) удельной мощности  $P_{уд}$ .

Таблица 1.

## Исходные данные исследуемого автобуса ГАЗ Вектор Next 10

Table 1.

## Initial data of the studied GAZ Vector Next 10 bus

Название	Значение	
Технически допустимая максимальная масса	$m_a = 10000$ кг	
Силовая установка-двигатель с воспламенителем от сжатия с номинальной стендовой мощностью =125 кВт (170 л.с.) и наибольшим вращающим моментом 650 Н·м		
Коэффициент отбора мощности на привод вспомогательного оборудования	$k_c = 0,95$	
Коробка передач механическая, ступенчатая с различным числом ступеней: пяти- и шестиступенчатая: с передаточными числами	$u_{кI} = 6,555$ ; $u_{кII} = 3,933$ ; $u_{кIII} = 2,376$ ; $u_{кIV} = 1,442$ ; $u_{кV} = 1,000$ ;	$u_{кI} = 6,555$ ; $u_{кII} = 3,933$ ; $u_{кIII} = 2,376$ ; $u_{кIV} = 1,442$ ; $u_{кV} = 1,000$ ; $u_{кVI} = 0,782$
Главная передача коническая с различными передаточными числами:	$u_0 = 3,9$ ;	$u_0 = 4,55$ ;
Коэффициент, учитывающий потери мощности трансмиссии	$\eta_{TP} = 0,87$	
Шины по ГОСТ Р 52899 – 2007	245/70R19,5	
Коэффициент сопротивления качению	$f_0 = 0,01$	
Параметры обтекаемости		
Коэффициент обтекаемости	$c_x = 0,46$	
Плотность воздуха	$\rho_B = 1,225$ кг/м <sup>3</sup>	
Площадь миделя	$A_B = 3,8$ м <sup>2</sup>	
Фактор обтекаемости	$W_B = 1,07$ (Н/с <sup>2</sup> )/м <sup>2</sup>	
Моменты инерции вращающихся частей		
Моменты инерции двигателя	$J_e = 2,15$ кг·м <sup>2</sup>	
Моменты инерции колеса	$J_k = 9,36$ кг·м <sup>2</sup>	
Число шин на колесах	$n_{ш} = 6$	

Единичные показатели исследуемого автобуса определены с использованием уравнения его прямолинейного движения в типичных дорожных условиях. С помощью программного пакета Matlab построены графики: 1) тягового баланса; 2) баланса мощности; 3) динамического баланса; 4) ускорений при разгоне; 5) времени разгона; 6) пути разгона автобуса. Были рассчитаны и построены 24 графика для автобуса, оснащенного пяти- и шестиступенчатой коробками передач, главными передачами с передаточными числами 3,9 и 4,55. Расчет

и построение графиков выполнены по методикам, изложенным в учебной и научной литературе по теории автомобиля [5-7]. Данное исследование проводилось одновременно с установлением зависимостей между показателями топливной экономичности и передаточными числами агрегатов трансмиссии автобуса [8]. Для иллюстрации результатов расчета на рис. 1 показан динамический баланс автобуса, оборудованного шестиступенчатой коробкой передач и главной передачей с передаточным числом 3,9. Рис. 2 и 3 необходимы для иллюстрации времени и пути разгона автобуса, оборудованного различными вариантами трансмиссии. Выполненные расчеты и наличие достаточного количества исходных данных позволили достигнуть цели исследования. Наибольшая скорость автобуса найдена по графикам тягового, мощностного и динамического балансов и ускорений разгона.

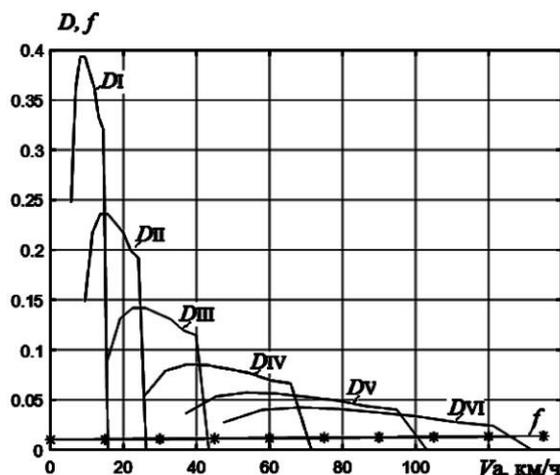


Рис. 1. Динамический баланс автобуса, оборудованного шестиступенчатой коробкой передач и главной передачей с передаточным числом 3,9

Fig. 1. Dynamic balance of a bus equipped with a six-speed gearbox and a main gear with a gear ratio of 3.9

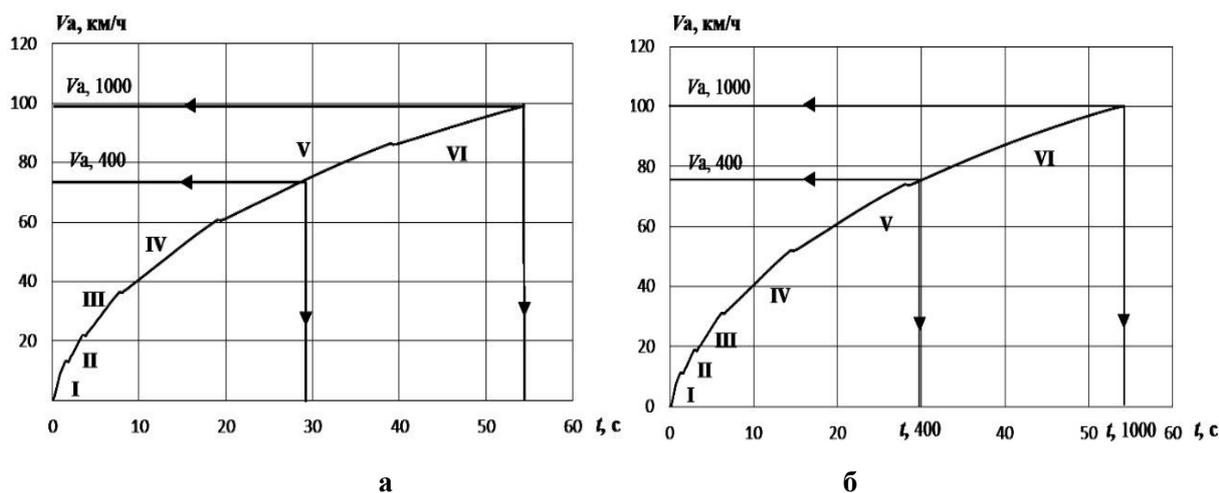


Рис. 2. Время разгона автобуса, оборудованного шестиступенчатой коробкой передач при передаточных числах главной передачи: а – 3,9; б – 4,55

Fig. 2. Acceleration time of a bus equipped with a six-speed gearbox with gear ratios of the main gear: a – 3.9; b – 4.55

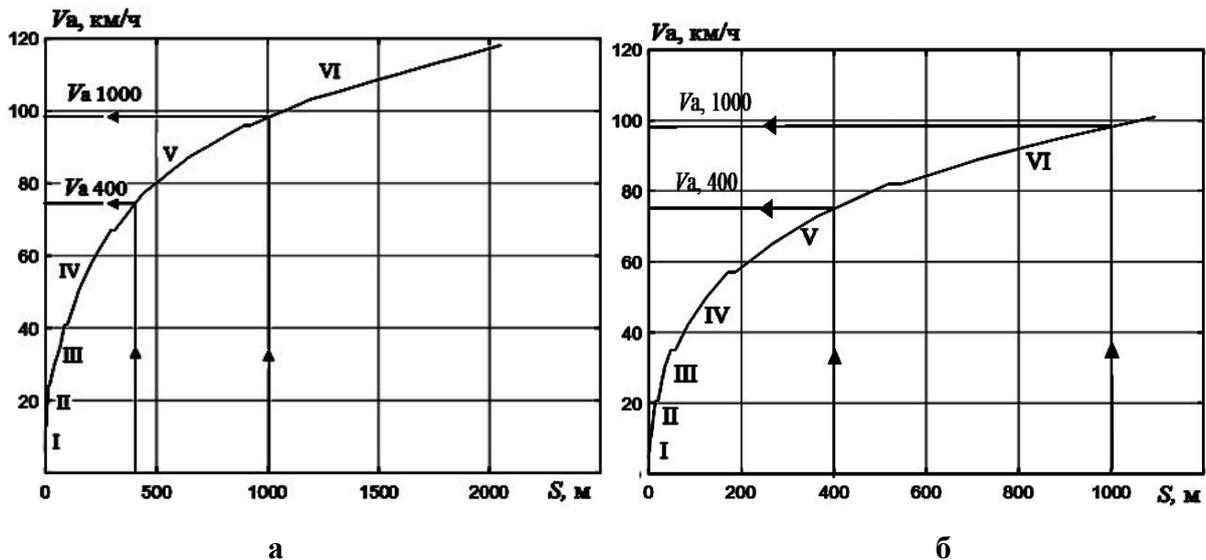


Рис. 3. Путь разгона автобуса, оборудованного шестиступенчатой коробкой передач при передаточных числах главной передачи: а – 3,9; б – 4,55

Fig. 3. Starting distance of a bus equipped with a six-speed gearbox with gear ratios of the main gear: a – 3.9; b – 4.55

Наибольшая скорость определена по графику динамического баланса (рис. 1) в точке пересечения кривых динамического фактора и коэффициента сопротивления качению  $f$ . Время движения на заданном пути следует определять на горизонтальном участке испытательной трассы длиной 400 м ( $t_{400}$ ) и 1000 м ( $t_{1000}$ ). Для этого по графику пути разгона (рис. 3) находят скорости  $V_{a400}$  и  $V_{a1000}$ , до которых автобус разгоняется на данных участках пути, после чего с использованием графика времени разгона (рис. 2) при этих скоростях находят значения времени разгона  $t_{400}$  и  $t_{1000}$ .

Для городских автобусов время разгона необходимо определять до скорости 60 км/ч ( $t_{60}$ ) по графику времени разгона (рис. 2). Наибольший угол подъема (град), преодолеваемого автобусом, вычисляют по формуле (1), [7]:

$$\alpha_{max} = \arcsin \left[ \frac{D_{max} - f \sqrt{1 - D_{max}^2 + f^2}}{1 + f^2} \right], \quad (1)$$

где  $D_{max}$  – максимальный динамический фактор на низшей ступени коробки передач (рис. 1);  $f = 0,01$  – коэффициент сопротивления качению.

Наибольший преодолеваемый автобусом уклон дороги (%) рассчитывают по формуле:

$$i_{max} = 100 \operatorname{tg} \alpha_{max}. \quad (2)$$

Наибольшие величины ускорений разгона на низшей и высшей ступенях коробки передач находят по графику ускорений разгона  $a_a = f(V_a)$ .

Определение удельной мощности производится согласно (3) (кВт/т):

$$P_{уд} = \frac{P_{e_{max}}^c}{m_a}, \quad (3)$$

где  $P_{e_{max}}^c$  – номинальная стендовая мощность двигателя, кВт;  $m_a$  – полная масса автобуса, т.

Зависимость наибольшего преодолеваемого автобусом уклона дороги (%) от передаточного числа главной передачи с пяти- и шестиступенчатой коробками передач может быть описана линейной зависимостью (4) [7]:

$$i = 41,7 + 13,54(u_0 - 3,9). \tag{4}$$

В табл. 2 показаны численные значения тягово-скоростных свойств автобуса при различных значениях параметров трансмиссии.

Таблица 2.

Тягово-скоростные свойства автобуса в зависимости от передаточных чисел трансмиссии

Table 2.

Traction and speed properties of the bus depending on transmission gear ratios

Вариант КПП	Пятиступенчатая КПП		Шестиступенчатая КПП	
Передаточные числа главной передачи	3,9	4,55	3,9	4,55
Исследуемый параметр				
Наибольшая скорость, км/ч	99	86	124	108
Время движения на пути 400 м, с	29,8	29,7	29,9	29,8
Время движения на пути 1000 м, с	–	–	54,3	54,1
Время достижения скорости 60 км/ч, с	18,7	19,48	18,7	19,48
Наибольший уклон дороги, %	41,7	50,5	41,7	50,5
Наибольшее ускорение на I передаче, м/с <sup>2</sup>	1,86	1,90	1,86	1,90
Наибольшее ускорение на V передаче, м/с <sup>2</sup>	0,43	0,52	–	–
Наибольшее ускорение на VI передаче, м/с <sup>2</sup>	–	–	0,28	0,36
Удельная мощность, кВт/т:	12,5			

Оценка топливной экономичности исследуемого автобуса, а именно – единичных показателей топливной экономичности производилась согласно [9]. Для этого требуется определить расходы топлива на постоянных скоростях (60-80 км/ч), расход топлива в городском цикле. Для нахождения искомых величин и для общей оценки топливной экономичности автобуса необходимо определить удельный расход двигателя  $g_d$  [г/(кВт·ч)], определен согласно [7, 10]. В табл. 3 приведен расход топлива автобуса при различных режимах движения и различных передаточных числах агрегатов трансмиссии. Городской цикл разработан в соответствии с [9].

Таблица 3.

Расход топлива автобуса в зависимости от передаточных чисел трансмиссии и режима движения

Table 3.

Bus fuel consumption depending on transmission ratios and driving mode

Выбранный режим движения	Путевой расход топлива, л/100 км.			
	$u_{кV}=1$ $u_0=3,9$	$u_{кV}=1$ $u_0=4,55$	$u_{кVI}=0,782$ $u_0=3,9$	$u_{кVI}=0,782$ $u_0=4,55$
Постоянная скорость 60км/ч	12,1	15,2	11,1	11,8
Постоянная скорость 80км/ч	13,8	16,9	13,5	14,2
Городской цикл	24,9	24,7	24,8	23,8
Разгон 0-60 км/ч	-	-	70,8	66,9

Наиболее экономичным вариантом на режиме установившегося движения является шестиступенчатая коробка передач с передаточным числом главной пары 3,9. Экономия между шести- и пятиступенчатой коробками передач с передаточным числом главной парой 3,9 составляет 1 л/100 км (-8,3 %) и 0,3 л/100 км (-2,2 %) на 60 и 80 км/ч соответственно. Наиболее экономичным вариантом для движения в городском цикле является шестиступенчатая коробка передач с передаточным числом главной парой 4,55. Экономия между шести-

ступенчатой и пятиступенчатой коробками передач с передаточным числом главной парой 4,55 составляет 0,9 л / 100 км (-3,6 %).

Учитывая полученные результаты в качестве приоритетного сочетания трансмиссии, была принята шестиступенчатая коробка передач с передаточным числом главной пары 4,55. Далее было предложено оптимизировать передаточные числа шестиступенчатой коробки передач, а именно изменить 2-ю, 3-ю и 4-ю передачи. Предложенные передаточные числа: для 2-й передачи – 3,74(-4,9 %), для 3-й передачи – 2,50(+5,2 %); для 4-й передачи – 1,35(-5,1 %). В табл. 4 предоставлены результаты расхода топлива оптимизированной шестиступенчатой коробки передач.

Таблица 4.

**Расход топлива в городском цикле для оптимизированной коробки передач**

Table 4.

**Fuel consumption in the urban cycle for an optimized gearbox**

Режим	Путевой расход топлива, л/100 км			
	Оригинальная шестиступенчатая КПП с ГП 4,55	Оптимизированная шестиступенчатая КПП с ГП 4,55	Изменение, л/100 км	Изменение, %
Городской цикл	23,8	23	-0,8	-3,4

### Выводы

Для исследуемого автобуса снижение передаточного числа главной передачи с 4,55 до 3,9 (на 14,3 %), оснащенного обоими вариантами коробок передач, приводит:

- к увеличению наибольшей скорости на 15 %;
- к увеличению времени разгона: 0-60 км/ч, на пути 400 м и 1000 м не более чем на 5 %;
- к уменьшению наибольшего преодолеваемого уклона дороги на 17,4 %;
- к уменьшению ускорений разгона на всех ступенях коробки передач, в том числе, на 1-й передаче на 2,1 %, на 5-й – на 17,3 %, на 6-й – на 22,2 %.

Использование оптимизированной шестиступенчатой коробки передач позволит экономить топливо в городском цикле 0,8 л / 100 км (-3,4 %) по сравнению с оригинальной шестиступенчатой коробкой передач.

*Исследования выполнены при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках проекта «Создание высокотехнологичного производства модельного ряда автомобилей ГАЗель Next с новой электронной архитектурой электронных систем» по Соглашению № 075-11-2019-027 от 29.11.2019 (постановление Правительства Российской Федерации от 09 апреля 2010 года № 218).*

### Библиографический список

1. **Naunheimer Н.** Automotive transmissions: Fundamentals, Selection, Design and Application: Second Edition / Н. Naunheimer. В. Bertsche, J. Ryborz, W. Novak, Heidelberg, Dordrecht, London, New York. Springer, 2011.
2. **Blokhin А.** The study of the automatic manual truck transmission clutch performance / А. Blokhin, А. Kropp, L. Barakhtanov, А. Taratorkin, А. Koshurina // Proceedings of the 2015 International Conference on Electrical, Automation and Mechanical Engineering (EAME 2015). AER – Advances in Engineering Research, 2015. Vol. 13, Pp. 421-424, <https://doi.org/10.2991/icamia-15.2015>. – 16 p.
3. Правила ЕЭК ООН № 68. Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения автотранспортных средств в отношении измерения максимальной скорости. Введ. 01.09.96. Швейцария. Женева: ЕЭК ООН. 1996. – 16 с.
4. ГОСТ 22576 – 90 (СТ СЭВ 6893 – 89). Автотранспортные средства. Скоростные свойства. Методы испытаний. М.: Стандартинформ. 2012. – 16 с.

5. **Тарасик, В.П.** Теория движения автомобиля: учебное пособие / В.П. Тарасик. – СПб.: БХВ-Петербург, 2006. – 487 с.
6. **Ларин, В.В.** Теория движения полноприводных колесных машин / В.В. Ларин. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. – 391 с.
7. **Кравец, В.Н.** Теория автомобиля: учебное пособие / В.Н. Кравец, В.В. Селифонов. – М.: ООО «Гринлайт+». 2011. – 884 с.
8. **Кравец, В.Н.** Установление зависимостей между показателями топливной экономичности и передаточными числами агрегатов трансмиссии автобуса / В.Н. Кравец, Р.А. Мусарский, А.В. Тумасов // Известия МГТУ МАМИ. 2020. № 2. С. 18-23.
9. ГОСТ Р 54810 – 2011. Автомобильные транспортные средства. Топливная экономичность. Методы испытаний. М.: Стандартиформ. 2012. – 26 с.
10. **Кравец, В.Н.** Измерители эксплуатационных свойств автотранспортных средств / В.Н. Кравец – Н. Новгород: НГТУ им. Р.Е. Алексеева, 2014. – 157 с.

*Дата поступления  
в редакцию: 22.05.2022*