

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ НОРМИРОВАНИЯ МАРШРУТНОГО РАСХОДА ТОПЛИВА АВТОБУСА ЛИАЗ-5256.57 В ЭКСПЛУАТАЦИИ

DEVELOPMENT OF A METHODOLOGY FOR RATIONING THE ROUTE FUEL CONSUMPTION OF THE LIAZ-5256.57 BUS IN OPERATION

П.А. БОЛОЕВ¹, д.т.н.
Н.В. ПЕТРОВ², к.т.н.
Ф.А. СКРЫБЫКИН³

¹ Бурятский государственный университет, Улан-Удэ, Россия

² Октемский филиал Арктического государственного агротехнологического университета, Якутск, Россия

³ Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Амосова, Якутск, Россия, petnikvad1988@mail.ru

P.A. BOLOYEV¹, DrSc in Engineering
N.V. PETROV², PhD in Engineering
F.A. SKRYBYKIN³

¹ Banzarov Buryat State University, Ulan-Ude, Russia

² Oktem branch of the Arctic State Agrotechnological University, Yakutsk, Russia

³ North-Eastern Federal University, Yakutsk, Russia, petnikvad1988@mail.ru

В статье анализируются пригородные автобусные перевозки по конкретным маршрутам в Республике Саха (Якутия). Для экспериментального исследования был выбран маршрут 101 Якутск – Табага общей протяженностью 31 км. Приведено расписание движения автобусов МУП «Якутская пассажирская автотранспортная компания» (ЯПАК) на пригородном маршруте. Изучены основные технические данные автобуса ЛиАЗ-5256.57. В соответствии с международными правилами для автобусов определение количества топлива, расход и удельные выбросы нормированных токсичных компонентов осуществляется с использованием ездового цикла на работающих барабанах. Для расчета расхода топлива используется методика моделирования показателей работы двигателя, обеспечивающих изменение тягово-скоростных характеристик автомобиля в соответствии с используемым установленным ездовым циклом. Результаты расчетного расхода топлива для ездового цикла NEDC сравниваются с экспериментальными данными. В качестве сравнения расчетных и теоретических данных о расходе топлива с практическими данными рассматривается двигатель Cummins типа CG 250. Двигатель внутреннего сгорания установлен на автобусе ЛиАЗ-5256.57. Экспериментальные данные по расходу топлива этого автобуса на 100 километра пробега (км) показал 49 нм³, а теоретические расчеты расхода топлива автобуса на 100 км по предлагаемому способу показал 48 нм³.

Таким образом, для оценки тягово-скоростных характеристик автобуса может быть использован предложенный комбинированный метод, позволяющий получить расчет расхода топлива, более близкий к экспериментальным данным по ездовому циклу. По исходным данным автомобиля оцениваются эффективные показатели работы двигателя. Предложен расчетный метод моделирования испытаний и экспериментальный ездовой цикл автомобильного транспорта общей массой более пяти тонн.

Ключевые слова: ускорение, замедление, ездовой цикл, эксперимент, расход топлива, пригородные автобусы.

Для цитирования: Болоев П.А., Петров Н.В., Скрыбыкин Ф.А. Разработка методики нормирования маршрутного расхода топлива автобуса ЛиАЗ-5256.57 в эксплуатации // Тракторы и сельхозмашины. 2021. № 6. С. 90–98. DOI: 10.17816/0321-4443-2021-6-90-98

The article analyzes suburban bus transportation on specific routes in the Republic of Sakha (Yakutia). Route No. 101 Yakutsk – Tabaga with a total length of 31 km was chosen for the experimental study. The timetable for the movement of buses of the municipal unitary enterprise Yakutsk Passenger Transport Enterprise (YAPAK) on the suburban route is given. The main technical data of the LiAZ-5256.57 bus were studied. In accordance with international rules for buses, the determination of the amount of fuel consumption and specific emissions of normalized toxic components is carried out using a driving cycle on working drums. A technique to calculate fuel consumption is used for modeling engine performance indicators that provide a change in the traction and speed characteristics of the vehicle in accordance with the established driving cycle. The calculated fuel consumption results for the NEDC driving cycle are compared with experimental data. As a comparison of calculated and theoretical data on fuel consumption with practical data, a Cummins type CG 250 engine is considered. The internal combustion engine is installed on the LiAZ-5256.57 bus. Experimental data on the fuel consumption of this bus per 100 kilometers (km) showed 49 nm³, and theoretical calculations of the fuel consumption of the bus per 100 km using the proposed method showed 48 nm³.

Thus, to assess the traction and speed characteristics of the bus, the proposed combined method can be used, which makes it possible to obtain a calculation of fuel consumption that is closer to the experimental data on the driving cycle. Based on the initial data of the vehicle, the effective performance of the engine is evaluated. A computational method for modeling tests and an experimental driving cycle for motor vehicles with a total mass of more than five tons are proposed.

Keywords: acceleration, deceleration, driving cycle, experiment, fuel consumption, commuter buses.

Cite as: Boloyev P.A., Petrov N.V., Skrybykin F.A. Development of a methodology for rationing the route fuel consumption of the LIAZ-5256.57 bus in operation. *Traktory i sel'khoz mashiny*. 2021. No 6, pp. 90–98 (in Russ.). DOI: 10.17816/0321-4443-2021-6-90-98

Введение

Автобусные перевозки в перспективе остаются основным видом пассажирских перевозок для большинства городов и поселков РФ и имеют большое социальное значение. В городе Якутске около 100 % от общих объемов пассажироперевозок выполняются наземным транспортом – автобусами. При этом из них на долю городских автобусных перевозок в 2018 г. приходилось 94 % перевозок.

Повышение эффективности работы предприятий, эксплуатирующих городские автобусы, может осуществляться за счет повышения топливной экономичности при решении которой вопросы, нормирования расхода топлива городскими автобусами играет первостепенную роль.

В Якутске с 1955 г. работает автобусный парк МУП «Якутская пассажирская автотранспортная компания» (ЯПАК) (ранее – «Якутское пассажирское автохозяйство» – ЯПАХ).

В ЯПАХе имелись не только автобусы, но и легковые автомобили (М-20) и так называемые грузотакси ГАЗ-51. Филиалы предприятия работали в Ленске и Алдане. По городу курсировали автобусы марки ЗИС-155, позднее – ПАЗ-651, ЗИЛ-158.

Предприятие выпускало на линии города до 200 автобусов в день, выполняя 18 городских, 7 пригородных, 4 дачных маршрута, то в настоящее время 70 автобусов.

В настоящее время МУП ЯПАК обслуживают 7 пригородных, 2 городских и 3 дачных маршрута. Однако в планах администрации Якутска – дальнейшее развитие муниципального транспорта.

Автобусы предприятия ездят по 7 пригородным маршрутам:

- маршрут № 101 Якутск – Табага общей протяженностью 31 км;
- маршрут № 102 Якутск – Маган общей протяженностью 24 км;
- маршрут № 103 Якутск – Хатассы общей протяженностью 17 км;

- маршрут № 104 Якутск – Кангалассы общей протяженностью 40 км;
- маршрут № 105 Якутск – Тулагино – Кильдямцы общей протяженностью 27 км;
- маршрут № 109 Якутск – Жатай – Захаровка общей протяженностью 21 км;
- маршрут № 111 Якутск – Жатай общей протяженностью 19 км.

Для экспериментального исследования мы выбрали маршрут № 101 Якутск – Табага с общей протяженностью 31 км. На рис. 1 красной линией показана схема маршрута Якутск – Табага с остановками. В табл. 1 показано расписание движения автобусов МУП «ЯПАК» по указанному маршруту. На маршруте эксплуатируются автобусы ЛиАЗ-5256.57 в количестве 6 шт. Автобусы в один день делают 3 рейса, среднесуточный пробег одного автобуса составляет 93 км.

Автобус ЛиАЗ-5256.57 (рис. 2) является городским автобусом большой вместимости и предназначен для перевозки пассажиров по дорогам с асфальтовым покрытием I и II категории общей сети страны на маршрутах с интенсивными пассажиропотоками.

ЛиАЗ-5256.57 был разработан и серийно производится на ООО «ЛиАЗ». Разработка автобуса была проведена с учетом требований рынка и отвечает самым высоким запросам потребителей, а также требованиям безопасности и защиты окружающей среды. Автобус изготавливается с установкой баллонов на крыше [12]. Основные технические данные автобуса ЛиАЗ-5256.57 приведены в табл. 2.

Однако опыт эксплуатации автобуса ЛиАЗ-5256.57 автобусным парком МУП «ЯПАК» говорит о других показателях маршрутного расхода топлива.

Цель исследований

Разработка методики нормирования расхода топлива для автобусов ЛиАЗ-5256.57 в эксплуатации и определение на ее основе маршрутных норм расхода топлива.

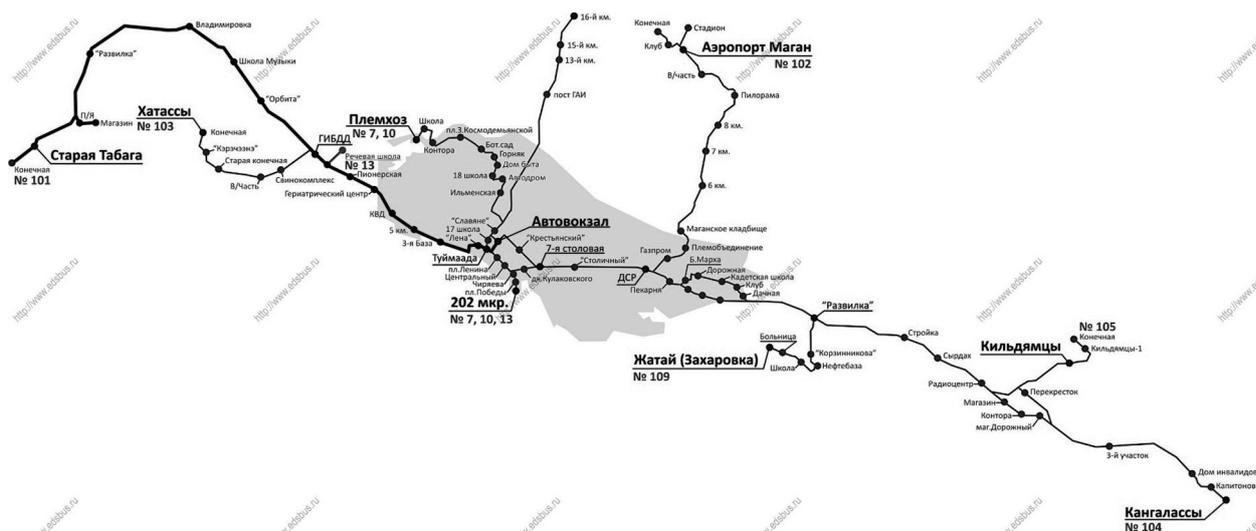


Рис. 1. Схема маршрута Якутск – Табага с остановками

Fig. 1. The scheme of route Yakutsk – Tabaga with stops

Таблица 1

Расписание движение автобусов

Table 1. Bus timetable

Маршрут № 101 Якутск – Табага											
Время отправления от автовокзала											
6:50	8:05	9:30	11:30	12:30	13:45	15:15	16:45	18:15	19:15	21:00	
Время отправления из п. Табага											
6:50	8:05	9:20	10:45	12:25	13:45	15:00	16:30	18:00	19:30	20:30	22:10



Рис. 2. Общий вид автобуса ЛиАЗ-5256.57

Fig. 2. General view of the LiAZ-5256.57 bus

Материалы и методы

Отличительной чертой работы автобусов на городских маршрутах является изменение степени наполнения автобусов пассажирами, различным расстоянием между остановками, большим числом остановок, торможений и разгоном, проездом регулируемых и нерегулируемых перекрестков и т.д. Практика показывает, что в условиях города режимы движения маршрутного автобуса существенно отличаются от режимов движения обычного

автомобиля. Достаточно заметить, что количество торможений, приходящихся на 1 км пути, выполняется водителем в 1,35 раза больше, выключений сцепления – в 2,48 раза, вынужденных остановок – в 1,54 раза. Существенное различие в условиях эксплуатации наблюдается как между маршрутной сетью нескольких автобусных парков, так и в рамках одного парка [12].

Для автобусов в соответствии с международными правилами определение расхода топлива и удельных выбросов нормируемых токсичных компонентов выполняется с использованием ездового цикла на беговых барабанах [3, 11].

На этапе предварительного выбора оптимальных параметров двигателя рациональным является математическое моделирование его работы в комплексе с автомобилем в ездовом цикле [5].

В связи с дороговизной оборудования для экспериментальной реализации испытательного ездового цикла на беговых барабанах часто возникает необходимость математического моделирования данного цикла.

ЭКОНОМИКА, ОРГАНИЗАЦИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА

Таблица 2

Основные технические данные автобуса ЛиАЗ-5256.57
Table 2. The main technical data of the LiAZ-5256.57 bus

Длина	11400 мм
Ширина	2500 мм
Высота: по крыше по воздухозаборнику по газовые баллоны	2885 мм 3065 мм 3347 мм
Передний свес	2510 мм
Задний свес	3050 мм
Межосевое расстояние (база)	5840 мм
Двигатель	
Модель	Cummins-CG 250
Тип	Газовый, четырехтактный, с турбонаддувом и промежуточным охлаждением наддувочного воздуха
Расположение	В заднем свесе, продольное
Номинальная мощность	186 кВт/250 л.с. при 2400 об/мин. коленвала
Максимальный крутящий момент	1013 Нм при 1400 об/мин. коленвала
Число цилиндров	6, рядное, вертикальное расположение
Рабочий объем	8300 см куб
Диаметр цилиндров	114 мм
Ход поршня	135 мм
Степень сжатия	10,2
Система зажигания	Адаптер зажигания – RoderWerter, 24 VDC; катушка зажигания – Cummins 3964547; свечи зажигания – Champion 78PYP
Минимальное потребление газового топлива	40 нм ³ /100 км
Система питания и выпуска отработавших газов	Двигатель имеет топливную систему с внешним смесеобразованием газозо-душ-ной смеси, с инжекционной подачей топлива и с искровым зажиганием, позволяющую распределять, дозировать и зажигать газовое топливо с низким давлением – от 0,55 до 1 МПа (от 5,5 до 10 кгс/см ²).
Газовая топливная система	Модель – «САГА-7 ЛИАЗ», максимальное рабочее давление 19,6 МПа (200 кгс/см ²), давление на выходе из редуктора при давлении на входе 4,9–19,6 МПа (50–200 кгс/см ²) при расходе 0,8–1 МПа (8–10 кгс/см ²). Состав: редуктор высокого давления; заправочное устройство с фильтром, вентилем, заправочным отверстием и датчиком (выключателем) наличия заглушки; электромагнитный клапан высокого давления с фильтром, манометром и индикатором давления газа; баллонные вентили (по числу баллонов); магистральные вентили (3 шт.); сигнализатор утечки газа с датчиками (СУГ-3); рукава для подвода теплоносителя из системы охлаждения двигателя к редуктору высокого давления и редуктору жидкостного подогревателя; гофрированные шланги для отвода возможных утечек за пределы автобуса; трубки высокого давления из нержавеющей стали (с наружным диаметром 8 мм и толщиной стенки 1 мм); тройники для соединения трубок высокого давления.

Для выполнения этой задачи использовалась методика моделирования показателей работы двигателя, которые обеспечивают изменение тягово-скоростных характеристик автомобиля в соответствии с заданным ездовым циклом [2, 4, 8]. От других моделей ее отличает простота в сочетании с высокой сходимостью расчетных и экспериментальных результатов. Исходные данные для математической

модели ездового цикла условно можно поделить на следующие группы.

1. Неизменные параметры автомобиля: передаточные числа коробки передач (для прямых передач) $u_{k1}, u_{k2}, u_{k3}, u_{k4}$; полная масса автомобиля m_a , кг; передаточное число раздаточной коробки u_{pb} (если раздаточная коробка отсутствует, то $u_{pb} = 1$); передаточное число главной передачи u_0 ; статический радиус колес r_{st} , м; коэффициент

ты для построения ВСХД A_1, A_2 [1]; коэффициенты суммарного дорожного сопротивления ψ_d ; КПД трансмиссии автомобиля η_t ; коэффициент сопротивления воздуха K , $(Н \cdot с^2)/м^4$; высота автомобиля B_p , м; ширина автомобиля H_p , м; коэффициенты заполнения лобовой площади автомобиля α_A .

2. Неизменные параметры двигателя: плотность топлива ρ_t , $кг/м^3$; номинальная мощность двигателя $N_{e,ном}$, кВт; номинальная частота вращения двигателя $n_{ном}$, $мин^{-1}$.

3. Параметры испытательного режима: номер включенной передачи i_u ; скорость автомобиля v , км/ч.

4. Выходные параметры двигателя: удельных эффективный расход топлива на режиме g_e , $г/(кВт \cdot ч)$.

5. Схема испытательного цикла, то есть заданная последовательность изменение параметров испытательного режима во времени.

Для выполнения исследования был выбран европейский ездовой цикл NEDC. Выбор этого цикла обусловлен тем, что страны СНГ, в том числе и Россия, в разработке стандартов определения и нормирования токсичности автомобильного транспорта ориентируются на стандарты ЕС, где начиная с 2000 г., NEDC – действующий ездовой цикл.

Цикл NEDC состоит из четырех следующих один за другим городских ездовых циклов ECE 15 и одного загородного ездового цикла EUDC, следующих один за другим. Схемы этих циклов представлены на рис. 3–5.

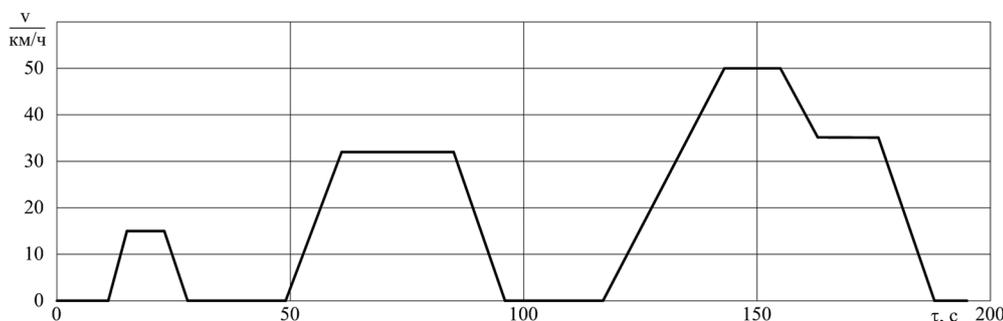


Рис. 3. Схема городского ездового цикла ECE 15

Fig. 3. ECE 15 urban driving pattern

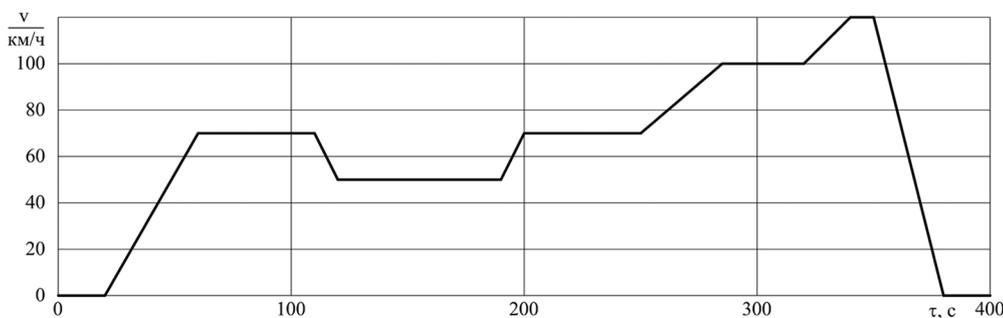


Рис. 4. Схема загородного ездового цикла EUDC

Fig. 4. EUDC extra-urban driving scheme

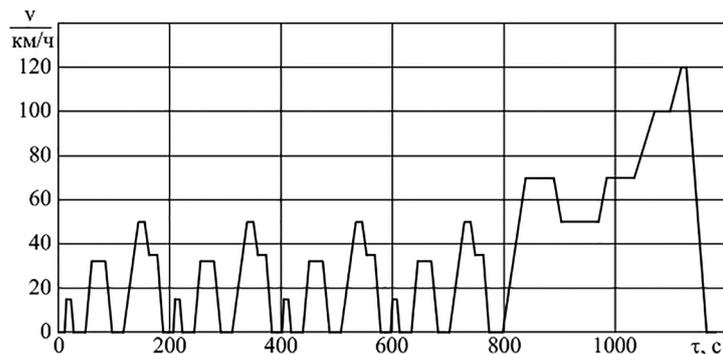


Рис. 5. Схема комбинированного ездового цикла NEDC

Fig. 5. NEDC Combined driving cycle diagram

Основные показатели ездового цикла NEDC также приведены в табл. 3.

Отличительной особенностью методики, предложенной в работе [4], является то, что для упрощения расчетного исследования ездовой цикл разбивается на участки, на которых параметры испытательного режима не изменяются [4]. То есть переходный режим, в течение которого автомобиль движется с ускорением или замедлением, разбивается на элементарные квазистационарные режимы.

Переходные режимы цикла EUDC разбиваются на участки длительностью $\Delta\tau = 1$ с, в течение которых параметры испытательного режима также не изменяются, скорость условно считается постоянной (рис. 6). В квазистационарных режимах учитываются изменения регулировочных параметров двигателя на переходных режимах (например, обогащение смеси при резком увеличении нагрузки), и такие элементарные режимы условно считаются стационарными. Кроме того, при расчете выбросов токсичных компонентов и расхода топлива автомобилем на квазистационарном режиме используются эмпирические поправочные коэффициенты (например, предложенные в работе [4]).

Для упрощения расчетного исследования переходные режимы в цикле ECE 15 заменяются стационарными по схеме, предложенной в работе [4] (рис. 7). Исследования, проведен-

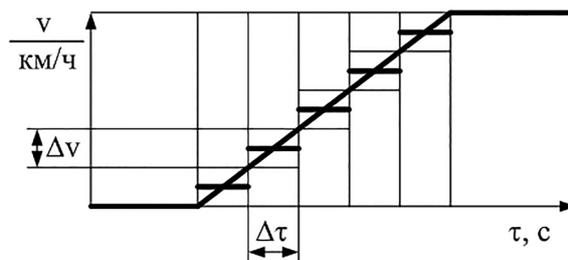


Рис. 6. Превращение переходного процесса в последовательность элементарных квазистационарных режимов в цикле EUDC

Fig. 6. The transformation of the transient process into a sequence of elementary quasi-stationary modes in the EUDC cycle

ные в работе [4, 6], показали, что данная схема позволяет обеспечить максимальное соответствие показателей экономичности и токсичности расчетного и экспериментального цикла.

Потребная частота вращения коленчатого вала двигателя, мин^{-1} [4]:

$$n = \frac{v \cdot u_{ki} \cdot u_{pb} \cdot u_0}{0,377 \cdot r_{st}} \quad (1)$$

Лобовая площадь автомобиля, м^2 [4]:

$$F = \alpha_A \cdot B_r \cdot H_r \quad (1)$$

Потребная мощность двигателя, кВт:

$$N_e = \frac{m_a \cdot 9,81 \cdot \psi_d \cdot v}{3600 \cdot \eta_{\pi}} + \frac{K \cdot F \cdot v^3}{46656 \cdot \eta_{\pi}} \quad (3)$$

Таблица 3

Основные показатели ездового цикла NEDC

Table 3. NEDC Driving cycle key metrics

Величина	Единица измерения	Обозначение	ECE 15	EUDC	NEDC
Путь	км	s_z	1,013	6,955	11,007
Время	с	τ_z	195	400	1180

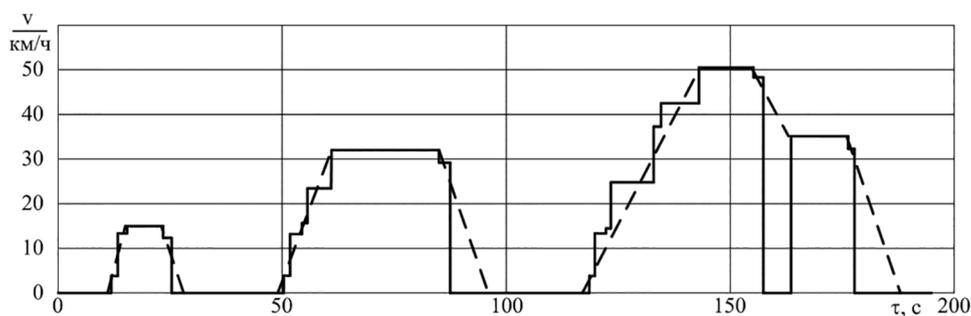


Рис. 7. Расчетная схема упрощенного городского ездового цикла ECE 15:

----- стандартный ездовой цикл; ————— упрощенный ездовой цикл

Fig. 7. ECE 15 Simplified urban driving scheme:

----- standard driving cycle; ————— simplified driving cycle

Мощность по внешней скоростной характеристике при заданных оборотах, кВт [4]:

$$N_{e_всхд} = N_{e_ном} \times \left[A_1 \cdot \frac{n}{n_{ном}} + A_2 \cdot \left(\frac{n}{n_{ном}} \right)^2 - \left(\frac{n}{n_{ном}} \right)^3 \right]. \quad (4)$$

Потребная удельная нагрузка на двигатель при заданной мощности, %:

$$\bar{P} = \frac{N_e}{N_{e_всхд}} \cdot 100. \quad (5)$$

Потребный крутящий момент, Н·м:

$$M_e = 9550 \cdot \frac{N_e}{n}. \quad (6)$$

Величины n и \bar{P} , рассчитанные по уравнениям (1) и (5), определяют режим работы двигателя. На основании данных режима определяются экспериментально на тормозном стенде либо рассчитываются по уточненной методике И.И. Вибе выходные параметры двигателя $g_e, g_{CO}, g_{CH}, g_{NO_x}$. При расчетном определении перечисленных показателей регулировочных параметров двигателя устанавливаются специалистом либо берутся из характеристических карт.

Расход топлива автомобилем на элементарном режиме, г [4]:

$$Q_{т_реж} = \frac{g_e \cdot N_e}{3600} \cdot \tau_{реж}, \quad (7)$$

где $\tau_{реж}$ – продолжительность элементарного режима, с.

Если режим является переходным, то это учитывается с использованием формул [4].

Расчет расхода топлива на переходном режиме, л:

$$Q_{т_реж_разгон} = k_{разгон}^T \cdot Q_{т_реж}, \quad (8)$$

$$Q_{т_реж_замедл} = k_{замедл}^T \cdot Q_{т_реж}, \quad (9)$$

где $k_{разгон}^T, k_{замедл}^T$ – эмпирические коэффициенты, учитывающие изменение расхода топлива автомобилем при разгоне и замедлении соответственно [10].

В качестве примера рассмотрим двигатель Cummins типа CG 250. Данный ДВС штатно устанавливается на автобус ЛиА3-5256.57.

В соответствии с классификацией, принятой в работе [2], автобус ЛиА3-5256.57 с установленным на нем двигателем Cummins типа CG 250 относится к категории М3.

Таблица 4

Значения коэффициентов $k_{разгон}^T, k_{замедл}^T$ для транспортных средства группы М3

Table 4. Values of coefficients $k_{разгон}^T, k_{замедл}^T$ for vehicles of M3 group

Режим	k^T
Диапазон скорости 0...20 км/ч	
Разгон	6,05
Замедление	0,24
Диапазон скорости 20...30 км/ч	
Разгон	8,10
Замедление	0,14
Диапазон скорости 30...40 км/ч	
Разгон	7,88
Замедление	0,10
Диапазон скорости 40...50 км/ч	
Разгон	5,80
Замедление	0,06
Диапазон скорости >50 км/ч	
Разгон	4,08
Замедление	0,06

Значения коэффициентов $k_{разгон}^T, k_{замедл}^T$ для транспортного средства данной категории приведены в табл. 4 [2].

Результаты

Итоговый расход топлива по ездовому циклу NEDC рассчитывается по формуле, (г/км):

$$\Sigma Q_{т_NEDC} = \frac{\sum_k (Q_{т_реж})_k}{S_{\Sigma_NEDC}} = \frac{4 \cdot \sum_m (Q_{т_реж})_m + \sum_n (Q_{т_реж})_n}{S_{\Sigma_NEDC}}, \quad (10)$$

где $\sum_k (Q_{т_реж})_k$ – суммарный расход топлива в течение цикла NEDC, г; $\sum_m (Q_{т_реж})_m$ – суммарный расход топлива в течение цикла ECE15, г; $\sum_n (Q_{т_реж})_n$ – суммарный расход топлива в течение цикла EUDC, г.

В таблице 5 показаны сравнения результатов расчетного расхода топлива по ездовому циклу NEDC с экспериментальными данными.

Выводы

1. Для оценки тягово-скоростных свойств автобуса предложено применять метод, позволяющий расчетным путем, используя в качестве исходных данных эффективный пока-

Сравнения результатов
Table 5. Comparison of results

Марка автобуса	Результаты расчетного расхода топлива по ездовому циклу NEDC на 100 км	Результаты экспериментального расхода топлива на 100 км
ЛиАЗ-5256.57	48 нм ³	49 нм ³

затели двигателя, оценить показатели работы автомобиля.

2. Предложена методика расчетного моделирования испытательного ездового цикла автомобиля полной массой более 5 т.

Литература

1. Туренко А.Н., Абрамчук Ф.И., Пойда А.Н. [и др.] Автоматизированный стенд для исследования и доводки газового малолитражного быстроходного двигателя внутреннего сгорания // Автомобильный транспорт. 2009. № 23. С. 89–94.
2. Луканин В.Н., Буслев А.П., Трофименко Ю.В., Яшина М.В. Автотранспортные потоки и окружающая среда: [учеб. пособие для ВУЗов]. М.: ИНФРА-М, 1998. 408 с.
3. Каніло П.М., Бей І.С., Ровенський О.І. Автомобіль та навколишнє середовище. Х.: Прапор, 2000. 304 с.
4. Гаспарянц Г.А. Конструкция, основы теории и расчета автомобиля. М.: Машиностроение, 1978.
5. Абрамчук Ф.И., Кабанов А.Н., Кузьменко А.П., Липинский М.С. Многокритериальная оптимизация параметров процесса сгорания малолитражного автомобильного газового двигателя // Двигатели внутреннего сгорания. Харьков: НТУ «ХПИ», 2011. № 2. С. 8–13.
6. Глаголев Н.М. Рабочие процессы двигателей внутреннего сгорания. Киев: Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы, 1950. 480 с.
7. Андриухіна О.С. Розробка спрощеного випробувального циклу для перевірки технічного стану бензинових двигунів легкових автомобілів в умовах експлуатації: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.20. Київ, 2006. 171 с.
8. Луканин В.Н., Трофименко Ю.В. Снижение экологических нагрузок на окружающую среду при работе автомобильного транспорта // Итоги науки и техники. М.: ВИНТИ, 1996.
9. Филипковский А.И. Совершенствование рабочего процесса дизелей типа ЧН 32/32 на основе физического и математического моделирования: дис. ... канд. техн. наук: 05.04.02. Х., 1988. 193 с.

10. Луканин В.Н., Трофименко Ю.В. Снижение экологических нагрузок на окружающую среду при работе автомобильного транспорта // Итоги науки и техники. М.: ВИНТИ, Т. 19: Автомобильный и городской транспорт. 1996. С. 90–110.
11. Кульчицкий А.И. Токсичность автомобильных и тракторных двигателей: учеб. пособие / Владим. гос. ун-т. Владимир, 2000. 256 с.
12. <http://www.autoopt.ru/auto/encyclopedia/bus/liaz/mark/liaz-5256/>

References

1. Turenko A.N., Abramchuk F.I., Poyda A.N. [i dr.] Automated test bench for research and development of a gas small-capacity high-speed internal combustion engine. Avtomobil'nyy transport. 2009. No 23, pp. 89–94 (in Russ.).
2. Lukanin V.N., Buslayev A.P., Trofimenko Yu.V., Yashina M.V. Avtotransportny-ye potoki i okruzhayushchaya sreda [Traffic flows and the environment]: [ucheb. posobiye dlya VUZov]. Moscow: INFRA-M Publ., 1998. 408 p.
3. Kanilo P.M., Bey I.S., Rovens'kiy O.I. Avtomobil' ta navkolishne seredovishche [Vehicle and environment]. KH.: Prapor Publ., 2000. 304 p.
4. Gasparyants G.A. Konstruktsiya, osnovy teorii i rascheta avtomobilya [Design, basic theory and calculation of the vehicle]. Moscow: Mashinostroyeniye Publ., 1978.
5. Abramchuk F.I., Kabanov A.N., Kuz'menko A.P., Lipinskiy M.S. Multi-criteria optimization of the parameters of the combustion process of a small-capacity automobile gas engine. Dvigateli vnutrennego sgoraniya. Khar'kov: NTU «KHPI», 2011. No 2, pp. 8–13 (in Russ.).
6. Glagolev N.M. Rabochiye protsessy dvigateley vnutrennego sgoraniya [Working processes of internal combustion engines]. Kiyev: gosudarstvennoye nauchno-tekhnicheskoye izdatel'stvo mashinostroitel'noy literatury Publ., 1950. 480 p.
7. Andryukhina O.S. Rozrobka sproshchenogo viprobuval'nogo tsiklu dlya perevirki tekhnichnogo stanu benzinovikh dviguniv legkovikh avtomobiliv v umovakh yekspluatatsii: dis. kand. tekhn. nauk [Development of a simplified test cycle to check the technical condition of gasoline engines of pas-

- senger vehicles in service conditions: Dissertation for Degree of PhD in Engineering]: 05.22.20. Kiiiv, 2006. 171 p.
8. Lukanin V.N., Trofimenko Yu.V. Reducing environmental impacts during the operation of road transport. Itogi nauki i tekhniki. Moscow: VINITI Publ., 1996 (in Russ.).
 9. Filipkovskiy A.I. Sovershenstvovaniye raboche-go protsessa dizeley tipa CHN 32/32 na osnove fizicheskogo i matematicheskogo modelirovaniya: dis. kand. tekhn. nauk [Improving the working process of diesel engines of ChN 32/32 type based on physical and mathematical modeling: Dissertation for Degree of PhD in Engineering]: 05.04.02. KH., 1988. 193 p.
 10. Lukanin V.N., Trofimenko Yu.V. Reducing environmental impacts on the environment during the operation of road transport. Itogi nauki i tekhniki. Moscow: VINITI Publ., T. 19: Avtomobil'nyy i gorodskoy transport. 1996, pp. 90–110 (in Russ.).
 11. Kul'chitskiy A.I. Toksichnost' avtomobil'nykh i traktornykh dvigateley [Toxicity of automobile and tractor engines]. Ucheb. Posobiye. Vladim. gos. un-t. Vladimir Publ., 2000. 256 p.
 12. <http://www.autoopt.ru/auto/encyclopedia/bus/liaz/mark/liaz-5256/>