

9. EASYELECTRONICS [Electronic resource]. – Electronic data. – Access mode: <http://forum.easyelectronics.ru/viewtopic.php?f=17&t=30071>. – Access date: 25.05.2022.

10. Gyver A. [Electronic resource]. – Access mode: <https://alexgyver.ru/lessons>. – Access date: 13.03.2022.

11. Arduino.ru [Electronic resource]. – Access mode: <http://arduino.ru/Reference>. – Access date: 02.04.2022.

12. Sedyako, P. V. Methods of study vehicle can bus / P. V. Sedyako; supervisor A. S. Gursky // NIRS-2021 : materials of the 77th student scientific and technical conference / editorial board: A. S. Povarekho [et. al.]; under total ed. A. S. Povarekho; comp. A. S. Povarekho. – Minsk: BNTU, 2021. – P. 93–103.

УДК 656.13

ЧИКИШЕВ Е.М. канд. техн. наук, доц.,
доцент каф. «Эксплуатация автомобильного транспорта»
E-mail: chikishev_e@mail.ru

Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия

Поступила в редакцию 16.05.2022

ВЛИЯНИЕ ФАКТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ НА РАСХОД ТОПЛИВА АВТОБУСА МАЛОЙ ВМЕСТИМОСТИ

В работе представлен эксперимент по определению расхода сжиженного нефтяного газа автобусом малой вместимости ГАЗель Next Citiline, работающего на регулярном городском маршруте. Проведен анализ законодательной базы по расширению использования альтернативного топлива на автомобильном транспорте ввиду ухудшающейся экологической обстановки. Выявлена тенденция по увеличению доли автобусов, использующих газовое топливо взамен традиционным дизелю и бензину. Проанализированы работы по выявлению факторов, влияющих на изменение расхода топлива автомобилями. Установлено, что основными факторами, влияющими на расход газового топлива, являются природно-климатические, транспортные и дорожные условия. На основе ездового эксперимента построена математическая модель, описывающая полученную зависимость. Также эксперимент показал, что в схожих дорожных и транспортных условиях отклонение между максимальными и минимальными значениями расхода газового топлива при изменении температуры окружающего воздуха составляет 27 %. На основе этого рассчитаны средние значения расхода топлива в различных температурных диапазонах, приведенные 100 км пробега и затраты на его приобретение.

Ключевые слова: факторный анализ, пассажирские перевозки, дизельный автобус, расход топлива.

Введение

В настоящее время правительства многих стран предпринимают шаги по замещению традиционных видов топлив на альтернативные. На автомобильном транспорте к таким видам можно отнести – нефтяной и природный газ, а также электричество. Тенденция расширения использования альтернативного топлива вызвана экологическим и экономическим аспектом. Особенно это актуально для крупных городов и мегаполисов.

Например, согласно данным российской федеральной службы государственной статистики [7] доля дизельных пассажирских автобусов России от общего числа возрастала до 2015 г. и составляла 45,9 % (110 763 ед.). А с 2016 г. имеет тенденцию к численному снижению. По состоянию на 2020 г. парк автобусов на дизельном топливе составляет 67 194 ед.

Доля бензиновых автобусов увеличивалась до 2010 г., когда составляла около 60 % (145 011 ед.) от общего числа всех автобусов. И далее, постепенно начала снижаться. В 2015 г. их насчитывалось 112 385 ед. (46,7 %). А в 2020 г. всего 5333 ед. (5,6 %).

Также, согласно [7] выявлено, что с 2016 г. резко снизился парк автобусов в целом. Если в 2015 г. их насчитывалось 241 090 ед., то в 2016 г. всего 101 663 ед. По состоянию на 2020 г. число всех пассажирских автобусов составляет 96 140 ед. из которых дизельных – 67 194 ед. (69,9 %), на природном газе – 19 909 ед. (20,7 %), на бензине – 5333 ед. (5,6 %), на других видах топлив (в том числе нефтяном газе и электричестве) – 3704 ед. (3,8 %).

Как видно доля бензиновых и дизельных автомобилей до сих пор является подавляющей, однако возрастает доля автобусов на газовом и других видах топлив [7].

К основным причинам, из-за которых снизился парк автобусов, и возросла доля использования альтернативного топлива является законодательная база, а именно:

– принятие ФЗ № 220 «Об организации регулярных перевозок пассажиров и багажа автомобильным транспортом и городским наземным электрическим транспортом в РФ» в результате чего в отрасли пассажирских перевозок запрещены автобусы с большим сроком эксплуатации, существенная часть которых составляла дизельные автобусы иностранного производства;

– подписание и последующая ратификация Россией парижского соглашения по климату, которому предшествовала в конце 2015 г. 21-я конференция (COP 21) рамочной конвенции ООН об изменении климата. Согласно этому,

Россия наращивает использование более экологических видов топлив

– принятие поправок в ФЗ № 261 от 23.11.2009 г. «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности...» (ред. от 11.06.2021 г.). В ст. 14. «Повышение энергетической эффективности экономики субъектов РФ и экономики муниципальных образований» указывается про увеличение доли высокоэкономичных в части использования моторного топлива автомобилей, в отношении которых проведены мероприятия по энергосбережению и повышению энергетической эффективности, в том числе по замещению бензина и дизельного топлива, альтернативными видами моторного топлива – природным газом, сжиженным нефтяным газом (пропан-бутаном) и др.

– измененная государственная программа России от 15.04.2014 г. № 321 «Развитие энергетики». В документе есть разделы по развитию более экологичного рынка газомоторного топлива, которые включают ряд положений по стимулированию переоборудования автомобилей на природный газ, приобретение новых газобаллонных автомобилей, а также строительство газозаправочной инфраструктуры;

– постановление Правительства РФ от 13.05.2020 г. № 669 «Об утверждении Правил предоставления субсидий из федерального бюджета производителям техники, использующей природный газ в качестве моторного топлива»;

– распоряжение правительства РФ от 09.06.2020 г. № 1523-р «Об утверждении Энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2035 г.»;

– распоряжение Правительства РФ от 23.08.2021 г. № 2290-р «О концепции по развитию производства и использования электрического автомобильного транспорта в Российской Федерации на период до 2030 г.».

Для повышения транспортной доступности во многих городах России распространены регулярные пассажирские маршруты с автобусами малой вместимости, которые в целом соответствуют ожиданиям по скорости и комфортности доставки. При этом известно, что большинство из них используют в качестве топлива сжиженный нефтяной газ (пропан-бутан).

Например, в российском городе Тюмень основной маркой автобусов малой вместимости является ГАЗель Next Citiline модификаций Луидор 225019, Луидор-2250DS и ГАЗ А64R45.

Целью работы является выявление закономерностей изменения расхода топлива автобуса

малой вместимости, работающего на городском регулярном маршруте в г. Тюмени.

Задачи исследования:

- выявить факторы, влияющие на изменения расхода топлива в городских условиях;
- провести эксперимент по влиянию внешних условий эксплуатации на величину расхода топлива автобуса на сжиженном нефтяном газе;
- установить закономерности влияния условий эксплуатации на расход топлива исследуемого автомобиля;
- представить затраты на приобретение газового топлива с учетом условий эксплуатации.

Объект исследования – процесс изменения расхода топлива автобусами в условиях городской среды.

Предметом исследования является отечественный газовый автобус малой вместимости ГАЗель Next Citiline (Луидор 225019) с двигателем Evotech A275 LPG, (газовый/бензиновый).

Автобус соответствует экологическому классу 5 (Евро-5). Имеет общую вместимость 19 чел. из которых одно стоячее место.

Факторный анализ

На расход топлива автобусов влияет большое количество факторов [1–6, 8–20]. К основным относятся:

- конструктивные особенности и его техническое состояние (тип двигателя, колесная формула, вид используемого топлива, аэродинамическое сопротивление, сопротивление качению шин, масса автомобиля, техническое состояние узлов и агрегатов, периодичности ТО и Р, предсезонная подготовка, пробег и т. д.);
- транспортные условия (загрузка автобусов пассажирами, движение в транспортном потоке, простои на посадку-высадку пассажиров и т. д.);
- природно-климатические условия (температура окружающего воздуха, влажность, атмосферное давление, скорость и направление ветра и т. д.);
- дорожные условия (качество дорожного полотна, уклоны, наличие на дороге, влаги льда, снега, камней, листьев и т. д.);
- психофизиологические особенности водителя (стиль езды, стаж и т. д.);
- работа дополнительного оборудования и его характеристики (кондиционер, климат-контроль, предпусковой подогреватель, отопитель салона, магнитола, фары и т. д.);
- вид и качество топлива.

Экспериментальное исследование

Исследуемый автобус Газель Next Луидор 225019 эксплуатировался на регулярном городском маршруте № 45 «ул. Созидателей – ЖК Звёздный городок». Маршрут соединяет два периферийных района и проходит по центральной магистральной улице Мельникайте. Схема маршрута представлена на рисунке 1.

Маршрут является маятниковым. Протяженность оборота составляет 54,7 км (в прямом направлении – 30 км, в обратном 24,7 км). В прямом направлении находится 48 остановочных пунктов, а в обратном 44. По маршруту следования в прямом направлении 30 светофорных объектов и 23 нерегулируемых пешеходных перехода.

В обратном направлении 31 регулируемый перекресток и 23 нерегулируемых пешеходных перехода. Более половины маршрута следования состоит из прямых отрезков с малым количеством уклонов и поворотов, опасные участки отсутствуют. Категория дороги – I.

На основе ездовых экспериментов выявлено, что время оборота в межпиковых промежутках времени составляет до 100 мин. В пиковое время оборот может составлять до 130 мин. Время работы автобуса на маршруте, в зависимости от графика движения, с 5:50 до 22:30. В исследовании представлены результаты только будних не праздничных дней за 2020–2021 гг. [19].

При проведении исследования ездового цикла фиксировалась дата, суточные пробеги, количество топлива на начало и конец маршрута и фактическая среднесуточная температура окружающего воздуха. Контроль расхода газового топлива осуществлялся с использованием метода доливки баллона до полного. Для снижения влияния на полученные результаты измерений случайных и систематических погрешностей производилась обработка более 100 замеров дневных ездовых циклов, что превышает количество измерений при используемом методе.

Температура окружающего воздуха получена на основе среднесуточных значений в соответствии с сайтом Gismeteo.

Для уменьшения влияния технического состояния автомобиля исследовалось одно тоже транспортное средство. На исследуемом микроавтобусе использовались смазочные материалы и технические жидкости, которые указаны в технической документации данной марки.

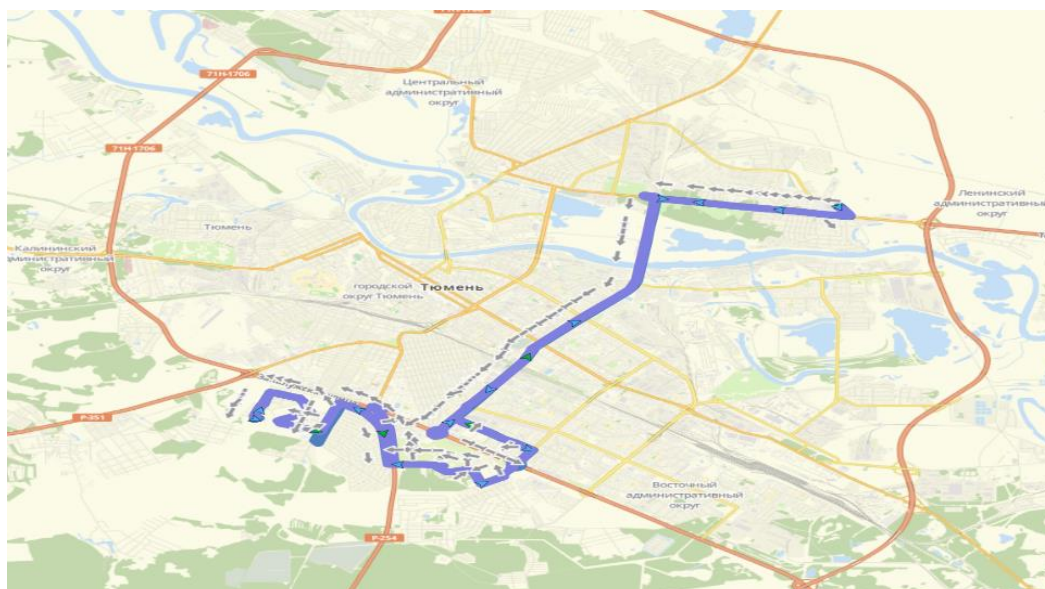


Рисунок 1 – Схема движения регулярного маршрута № 45

Для снижения влияния навыков вождения на уровень расхода топлива учитывались данные по автобусу, на котором работали два одних и тех же водителя (эксплуатация автобуса осуществляется в 2 смены).

Для уменьшения влияния качества топлива на результаты эксперимента, автобус заправлялся на одной и той же АГЗС.

На этапе планирования эксперимента выявлено, что при эксплуатации в зимнее время года пуск и прогрев двигателя данного автобуса осуществляется на бензине, а работа на маршруте на сжиженном нефтяном газе. Поэтому расход на прогрев двигателя в исследованиях не учитывался.

В результате обработки ездовых экспериментальных данных построена графическая зависимость (рисунок 2).

Результаты и выводы

Проведя анализ полученных исследовательских данных было установлено, что ежесуточный пробег автобуса составлял от 89 до 282 км. В основном пробег составляет от 250 км. Диапазон температур окружающего воздуха в течение исследуемого периода – от минус 26 до +32 °С.

Самое низкое отклонение расхода топлива от базовых значений зафиксировано в диапазоне температур воздуха от +4 до +19 °С и составляло около 16 л/100 км. При этом большинство полученных значений расхода топлива при температурах от +3 до +22 °С находится в диапазоне от 15,7 до 17,3 л/100 км.

При отрицательных температурах воздуха наблюдается тенденция к увеличению расхода топлива с 16,9 до 21,4 л/100 км.

Минимальный расход топлива установлен при температуре воздуха +19 °С (15,7 л/100 км), а максимальный при минус 25 °С (21,4 л/100 км). Отклонение между минимальным и максимальным значениями составило – 27 %.

Установлено, что затруднена эксплуатация двигателя на газовом топливе при температурах ниже минус 25 °С.

Выявлено, что в часы-пик в салоне автобуса на большей части маршрута превышено допустимое количество пассажиров, что может влиять на расход топлива, приведенного к 100 км пробега с учетом природно-климатических, дорожных и транспортных условий.

При отрицательных температурах воздуха обогрев салона происходит за счет отопителя, использующего тепло системы охлаждения.

При обработке ездового эксперимента в программных комплексах «Excel» и «Statistica 8.0» была получена квадратичная математическая модель расхода топлива (1) и выявлены некоторые численные значения основных статистических характеристик.

$$q_{\text{СНГ}} = 0,0036 \cdot t_{\text{в}}^2 - 0,0762 \cdot t_{\text{в}} + 17,036, \quad (1)$$

где $t_{\text{в}}$ – фактическая среднесуточная температура окружающего воздуха, °С.

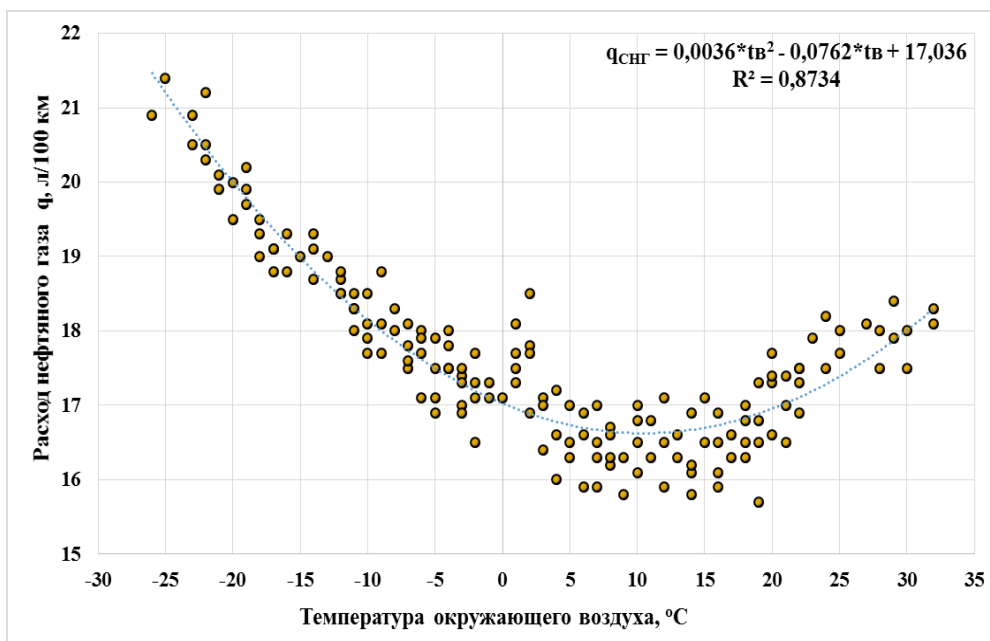


Рисунок 2 – График фактического расхода сжиженного нефтяного газа автобусом Газель Next Луидор 225019

Коэффициент детерминации 0,87 свидетельствует о том, что на долю вариации температуры окружающего воздуха приходится большая часть по сравнению с остальными факторами в модели, влияющими на изменение расхода газового топлива. Статистическая значимость коэффициентов подтверждена значением критерия Стьюдента (*t*-критерия) которая составила – 13. Ввиду того, что средняя ошибка аппроксимации составляет 0,91 % и не превышает 10 %, то полученное уравнение можно использовать в качестве регрессии. Значение критерия Фишера (*F*) при заданном уровне доверительной вероятности 0,95 составило 124, что больше табличного, следовательно, регрессионная модель адекватно описывает влияние температуры окружающего воздуха на расход сжиженного нефтяного газа.

Знание среднего расхода топлива и затрат на его приобретение позволяет планировать финансовые средства пассажирских предприятий на закупку топлива. Результаты представлены в таблице 1. Цена на пропан-бутан по состоянию на январь 2022 г. в г. Тюмени составляла 29,0 руб./л.

Таблица 1 – Средние значения расхода топлива в различных температурных диапазонах л/100 км и затраты на его приобретение руб./100 км

Марка автобуса	Температурный диапазон							
	-20	-15	-10	-5	+5	+10	+15	+20
ГАЗель Next Луидор 225019	19,4	17,8	16,5	16,7				
	562,6	516,2	478,5	484,3				

Таким образом:

– установлено, что основными влияющими факторами при эксплуатации автобуса малой вместимости являются температура окружающего воздуха, а также транспортные и дорожные условия;

– экспериментально определено, что отклонение между максимальными и минимальными значениями расхода топлива составляют – 27 %; Минимальный расход топлива – 15,7 л/100 км (при +19 °С), а максимальный – 21,4 л/100 км (при минус 25 °С).

– на основе ездовых экспериментов была получена адекватная математическая модель, описывающая установленную зависимость.

– на основе данных по фактическому расходу топлив и температур окружающего воздуха было установлено, что затраты на сжиженный нефтяной газ составляют от 478 до 562 руб./100 км (в ценах января 2022 г.).

Литература

1. Анисимов, И. А. Приспособленность автомобилей с дизельными двигателями к низкотемпературным условиям эксплуатации по токсичности отработавших газов: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.10 / И. А. Анисимов; ТюмГНГУ. – Тюмень, 2003. – 195 с.

2. Гаваев, А. С. Приспособленность газобаллонных автомобилей к низкотемпературным условиям эксплуатации по токсичности отработавших газов и расходу топлива: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.10 / А. С. Гаваев; ТюмГНГУ. – Тюмень, 2007. – 155 с.

3. Захаров, Д. А. Влияние зимних условий эксплуатации автомобилей на топливную экономичность двигателей: дис. ... канд. техн.

наук: 05.22.10 / Д. А. Захаров; ТюмГНГУ. – Тюмень, 2000. – 165 с.

4. Иванов, А. С. Приспособленность газодизельных автомобилей к низкотемпературным условиям эксплуатации и массе перевозимого груза по расходу топлива и токсичности отработавших газов: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.10 / А. С. Иванов; ТюмГНГУ. – Тюмень, 2011. – 155 с.

5. Иголкин, А. Н. Определение ресурса городских автобусов: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.10 / А. Н. Иголкин; ВлГУ. – Владимир, 2010. – 167 с.

6. Капский, Д. В. Транспортные передвижения для построения сети городского пассажирского транспорта и транспортной системы в целом / Д. В. Капский // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2022. – № 1 (74). – С 17–30.

7. Официальный сайт Федеральной службы государственной статистики : – Режим доступа: <https://rosstat.gov.ru/folder/23455>. – Дата доступа: 15.04.2022.

8. Петров, А. И. Город. Транспорт. Внешняя среда: монография / А. И. Петров. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2013. – 356 с.

9. Петров, А. И. Концептуальные основы совершенствования управления городским пассажирским общественным транспортом на основе учета влияния внешней среды / А. И. Петров // Транспорт: наука, техника, управление. – 2011. – № 4. – С. 42–47.

10. Петров, В. Е. Психология дорожного стресса и агрессивного поведения современных зарубежных исследованиях / В. Е. Петров, А. В. Кокурин, А. Ю. Назарова // Современная зарубежная психология. – 2020. – Т. 9, № 1. – С. 22–28.

11. Приспособленность газобаллонных автомобилей к низкотемпературным условиям эксплуатации по расходу топлива и выбросам вредных веществ с отработавшими газами / И. А. Анисимов, А. С. Иванов, Е. М. Чикишев [и др.]. – Тюмень, ТюмГНГУ, 2013. – 296 с.

12. Нормы расхода топлив и смазочных материалов на автомобильном транспорте : Распоряжение Минтранса России от 14.03.2008 № АМ-23-р (ред. от 20.09.2018 г.) «О введении в действие методических рекомендаций» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_76009/. – Дата доступа: 10.04.2022.

13. Резник, Л. Г. Оценка приспособленности автомобилей к массе перевозимого груза по расходу топлива с учетом суровости транспортных условий / Л. Г. Резник, Д. А. Чайников // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2009. – № 3 (39). – С. 64–68.

14. Рехалов, Р. О. Исследование влияния температуры воздуха на расход топлива легкового автомобиля, переоборудованного для работы на сжиженном нефтяном газе / Р. О. Рехалов, Е. М. Чикишев // Архитектура, строительство, транспорт. – 2021. – № 3. – С. 60–67.

15. Свистунова, В. А. Совершенствование перевозочного процесса городского пассажирского общественного транспорта производственных моногородов в суровых погодных условиях (на примере г. Нефтеюганск) : дис. ... канд. техн. наук: 05.22.10 / В. А. Свистунова; ТюмГНГУ. – Тюмень, 2010. – 210 с.

16. Семченков, С. С. Повышение эффективности работы предприятий маршрутного пассажирского транспорта в современных условиях / С. С. Семченков, Д. В. Капский // Новости науки и технологий. – 2022. – № 1 (60). – С. 16–26.

17. Чикишев, Е. М. Корректирование перевозочных маршрутов городского общественного пассажирского транспорта г. Тюмени и г. Екатеринбурга / Е. М. Чикишев // Грузовое и пассажирское автохозяйство. – 2014. – № 4. – С. 31–43.

18. Чикишев, Е. М. Определение норм расхода топлив автобусов на основе фактических условий эксплуатации в городской среде / Е. М. Чикишев // Автотракторостроение и автомобильный транспорт : сборник научных трудов международной научно-практической конференции. – Минск, 2021. – Т. 2. – С. 93–99.

19. Чикишев, Е. М. Эксплуатация автобусов на различных видах топлива в условиях городской среды : монография / Е. М. Чикишев, А. С. Гаваев, Д. А. Чайников. – Тюмень: ТИУ, 2022. – 175 с.

20. Ярков, С. А. Влияние низкотемпературных условий эксплуатации на регулярность движения городских маршрутных автобусов: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.10 / С. А. Ярков; ТюмГНГУ. – Тюмень, 2007. – 207 с.

CHIKISHEV Evgeniy. M., Ph.D. in Eng., Ass. Prof.,
Associate Profesor Dept. Operation of road transport
E-mail: chikishev_e@mail.ru

Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia

Received 16 May 2022

THE INFLUENCE OF ACTUAL OPERATING CONDITIONS ON THE FUEL CONSUMPTION OF A MINIBUS

The paper presents an experiment to determine the consumption of liquefied petrol gas by a minibus GAZelle Next Citiline operating on a regular city route. An analysis of the legislative framework for expanding the use of alternative fuels in road transport is carried out due to the deteriorating environmental situation. A trend towards an increase in the share of buses using gas fuel instead of traditional diesel and gasoline is revealed. Analyzed papers to identify factors affecting the change in fuel consumption by cars. It is established that the main factors affecting the gas fuel consumption are climatic, transport and road conditions. Based on the driving experiment, a mathematical model describing the obtained dependence is obtained. The experiment also showed that in similar road and transport conditions, the deviation between the maximum and minimum values of gas fuel consumption with a change in ambient temperature is 27%. Based on this, the average values of fuel consumption in various temperature ranges, the given 100 km of mileage and the cost of its acquisition were calculated.

Keywords: factor analysis, passenger transportation, diesel bus, fuel consumption.

References

1. Anisimov, I. A. Diesel vehicle adaptability to low ambient temperature conditions by the exhaust gases toxicity: diss. ... cand. of tehn. sciences: 05.22.10 / I. A. Anisimov; TSOGU. – Tyumen, 2003. – 195 p. (in Russian).
2. Gavaev, A. S. Natural gas vehicles adaptability to low-temperature operation conditions by toxicity of exhaust gases and fuel consumption: diss. ... cand. of tehn. sciences: 05.22.10 / A. S. Gavaev; TSOGU. – Tyumen, 2007. – 155 p. (in Russian).
3. Zakharov, D. A. Influence of winter operating conditions of vehicles on the fuel efficiency of engines: diss. ... cand. of tehn. sciences: 05.22.10 / D. A. Zakharov; TSOGU. – Tyumen, 2000. – 165 p. (in Russian).
4. Ivanov, A. S. Gas-diesel vehicles adaptability to low-temperature operation conditions and weight of cargo by fuel consumption and toxicity of exhaust gases: diss. ... cand. of tehn. sciences: 05.22.10 / A. S. Ivanov; TSOGU. – Tyumen, 2011. – 155 p. (in Russian).
5. Igolkin, A. N. Determination of the resource of city buses: diss. ... cand. of tehn. sciences: 05.22.10 / A. N. Igolkin; VIGU. – Vladimir, 2010. – 167 p. (in Russian).
6. Kapsky, D. V. Transport movement in constructing urban passenger transport network and transport system as a whole / D. V. Kapsky // The Belarusian-Russian university herald. – 2022. – № 1 (74). – P. 17–30 (in Russian).
7. Official website of the Federal State Statistics Service [Electronic resource]. – Access mode: <https://rosstat.gov.ru/folder/23455>. Date of access: 15/04/2022 (in Russian).
8. Petrov, A. I. City. Transport. External environment: monograph / A. I. Petrov. – Tyumen: TSOGU, 2013. – 356 p. (in Russian).
9. Petrov, A. I. Conceptual foundations for improving the management of urban passenger public transport based on taking into account the influence of the external environment / A. I. Petrov // Transport: science, technology, management. – 2011. – № 4. – P. 42–47 (in Russian).
10. Petrov, V. E. Psychology of road stress and aggressive behavior in modern foreign research / V. E. Petrov, A. V. Kokurin, A. Yu. Nazarova // Modern foreign psychology. – 2020. – Vol. 9, № 1. – P. 22–28. (in Russian).
11. Adaptability of gas-balloon vehicles to low-temperature operating conditions in terms of fuel consumption and emissions of harmful substances with exhaust gases / I. A. Anisimov, A. S. Ivanov, E. M. Chikishev [et al.]. – TSOGU. – Tyumen, 2013. – 296 p. (in Russian).

12. On the introduction of methodological recommendations «Norms of consumption of fuels and lubricants in road transport» [Electronic resource]: Order of the Ministry of Transport of Russia dated 14.03.2008 № AM-23-p (ed. 20.09.2018) // Consultant Plus : Access mode: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_76009. – Date of access: 10/04/2022 (in Russian).

13. Reznik, L. G. Assessment of the adaptability of vehicles to the mass of the transported cargo in terms of fuel consumption, taking into account the severity of transport conditions / L. G. Reznik, D. A. Chainikov // Bulletin of the Irkutsk State Technical University. – 2009. – № 3 (39). – P. 64–68 (in Russian).

14. Rekhalov, R. O. Research of the temperature influence of fuel consumption of a passenger car converted to operate on liquefied petroleum gas / R. O. Rekhalov, E. M. Chikishev // Architecture, construction, transport. – 2021. – №3. – P. 60–67 (in Russian).

15. Svistunova, V. A. Improving the transportation process of urban passenger public transport of industrial single-industry cities in severe weather conditions (on the example of the city of Nefteyugansk) : diss. ... cand. of techn. sciences: 05.22.10 / V. A. Svistunova; TSOGU. – Tyumen, 2010. – 210 p. (in Russian).

16. Semtchenkov, S. S. Increasing the efficiency of passenger route transport enterprises work in modern conditions / S. S. Semtchenkov, D. V. Kapski // Science and technology news. – 2022. – №1 (60). – P. 16–26 (in Russian).

17. Chikishev, E. M. Correcting the transportation routes of urban public passenger transport in the Yekaterinburg and Tyumen cities / E. M. Chikishev // Freight and passenger vehicles. – 2014. – № 4. – P. 31–43 (in Russian).

18. Chikishev, E. M. Determination bus fuel consumption rates based on the actual use conditions in the urban environment / E. M. Chikishev // Automobile and tractor construction and road transport : international scientific and practical conference. – Minsk, 2021. – Vol. 2. – P. 93–99 (in Russian).

19. Chikishev, E. M. Operation of buses on various types of fuel in an urban environment : monograph / E. M. Chikishev, A. S. Gavaev, D. A. Chainikov. – Tyumen: IUT, 2022. – 175 p. (in Russian).

20. Iarkov, S. A. Influence of low-temperature operating conditions on the regularity of the movement of urban shuttle buses: diss. ... cand. of techn. sciences: 05.22.10 / S. A. Iarkov; TSOGU. – Tyumen, 2007. – 207 p. (in Russian).

УДК 656

САРАЖИНСКИЙ Д. С., канд. физ.-мат. наук,
доц. кафедры «Транспортные системы и технологии»
E-mail: sarazhinsky@mail.ru

Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

Поступила в редакцию 08.08.2022

АНАЛИТИКО-АЛГОРИТМИЧЕСКИЙ МЕТОД ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТРАНСПОРТНОГО СПРОСА (НА РЕГУЛИРУЕМОМ ПЕРЕСЕЧЕНИИ) ПО ПОЛОСАМ

В повседневной практике проектирования/реорганизации управления движением на регулируемом пересечении типично в качестве исходных данных выступает информация о распределении транспортного спроса по направлениям движения (именно она является наиболее общей формой представления спроса на передвижение через пересечение). С другой стороны, для оценки показателей функционирования соответствующего пересечения необходимо иметь информацию о распределении этого транспортного спроса уже непосредственно по полосам движения. Как следствие с необходимостью встает задача о прогнозировании такого распределения на базе математического моделирования. Наиболее прямым способом здесь мог бы служить подход с использованием