

# ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА НА РАСХОД ТОПЛИВА ЛЕГКОВОГО АВТОМОБИЛЯ, ПЕРЕОБОРУДОВАННОГО ДЛЯ РАБОТЫ НА СЖИЖЕННОМ НЕФТЯНОМ ГАЗЕ

Р. О. Рехалов, Е. М. Чикишев  
Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия

## RESEARCH OF THE AIR TEMPERATURE INFLUENCE ON FUEL CONSUMPTION OF A PASSENGER CAR CONVERTED TO OPERATE ON LIQUEFIED PETROLEUM GAS

Roman O. Rekhalov, Evgeniy M. Chikishev  
Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia

**Аннотация.** Ввиду стремительного роста загрязнения окружающей среды передвижными источниками, возрастает доля применения альтернативных видов топлив. На автомобильном транспорте одним из таких является сжиженный нефтяной газ. Данное исследование посвящено использованию нефтяного газа легковым автомобилем Mitsubishi Lancer X, который эксплуатировался в ездовых условиях. При анализе предыдущих исследований были определены наиболее весомые факторы, которые влияют на изменение расхода топлив автомобилей. Было установлено, что при снижении температуры окружающего воздуха от +30 до –20 °С наблюдается увеличение расхода нефтяного газа с 11,2 до 13,6 л/100 км. Также выявлено, что при температурах воздуха от –20 °С и ниже наблюдается неустойчивая работа на газовом топливе.

**Abstract.** Due to the rapid growth of environmental pollution from mobile sources, the part of alternative fuels use is increasing. One of these for motor vehicle is liquefied petroleum gas (LPG). This study focuses on the LPG use by Mitsubishi Lancer X passenger car in driving conditions. Based on the results of the previous studies analysis, the most significant factors affecting the change in fuel consumption by motor vehicles were identified. It was proved that the decrease in the ambient temperature from +30 to –20 °C leads to an increase in gas consumption from 11.2 to 13.6 l/100 km. In addition, at air temperatures from –20 °C and below, the gas-fueled engine is unstable.

---

**Ключевые слова:** газобаллонный автомобиль, сжиженный нефтяной газ, пропан-бутан, альтернативное топливо, автомобильный транспорт

**Key words:** gas cylinder vehicle, liquefied petroleum gas, propane-butane, alternative fuel, automobile transport

### Введение

На фоне усугубляющейся экологической обстановки в мире государства стремятся снизить вредное воздействие человека на окружающую среду. Одним из последних глобальных основополагающих документов по борьбе с влиянием человека на природу является Парижское соглашение от 2015 года (21-я сессия Конференции сторон Рамочной конвенции ООН об изменении климата (COP21/CMР11)). Подписи под Парижским соглашением уже поставили 195 стран, а 189, в том числе такие крупнейшие индустриальные страны, как Великобритания, Китай, Россия, США, Франция, Япония и другие, его ратифицировали.

Целью соглашения является поддержание увеличения средней температуры планеты на уровне ниже 2 °С к 2100 году. Для России вопрос выбросов вредных веществ стоит особо остро ввиду того, что наша страна с 2014 года входит в пятерку мировых лидеров по выбросам CO<sub>2</sub>. При этом существенная часть этих выбросов приходится на автомобильный транспорт, количество которого на 2021 год составляет свыше 52 млн.

В сфере автомобильных перевозок одним из направлений снижения воздействия на экологию является применение топлив, которые являются альтернативой бензину и дизельному топливу. В разных странах растет доля транспорта, использующего газообразные виды топлива (метан, биогаз, пропан-бутан, водород и другие), а также электричество [1–4].

На фоне этого существенно растет и потребление газового топлива автомобильным транспортом. Если в 2014 году объем потребления составлял 465 млрд м<sup>3</sup>, то в 2019 году – уже около 900 млрд м<sup>3</sup> [5]. При этом в основном используют такой газообразный углеводород, как сжиженный углеводородный газ (он же пропан-бутановая смесь, сжиженный нефтяной газ) и в меньшей степени природный газ (он же метан, компримированный природный газ, сжиженный природный газ).

Нефтяной и природный газы более экологичны в сравнении с традиционными видами топлива [6–8], а также являются более дешевыми, что позволяет оптимизировать эксплуатационные расходы владельцев транспортных средств.

При этом для использования вышеописанных видов топлива автомобиль необходимо оборудовать газобаллонной аппаратурой, что может повышать его надежность, так как используются две независимые системы питания. А для хранения газовых топлив используются специальные газовые баллоны.

Заправочная инфраструктура пропан-бутановой смесью по сравнению с природным газом имеет разветвленную сеть станций. Стоит отметить, что принцип работы заправочных станций разный.

Сжиженное топливо пропан-бутан на автомобильную газовую заправочную станцию (АГЗС) доставляется в жидком виде автомобильным транспортом в цистернах. Максимальное давление при хранении сжиженного углеводорода в баллонах автомобиля составляет около 16 атмосфер (1,6 МПа).

Сжатое топливо метан на автомобильную газонаполнительную компрессорную станцию (АГНКС) поступает по газопроводу. То есть АГНКС должна иметь постоянное подключение к магистральному или местному газопроводу. Максимальное давление при хранении компримированного природного газа в баллонах автомобиля составляет около 200 атмосфер (19,6 МПа).

Есть еще один вид заправок сжиженного природного газа – это криогенные автомобильные заправочные станции (КриоАЗС). Однако, ввиду их практически полного отсутствия в России, в данной работе они не рассматривались.

Следовательно, в настоящее время инфраструктуру АГЗС строить, обслуживать и снабжать топливом проще и дешевле по сравнению с АГНКС. Однако в последние несколько лет благодаря государственной поддержке число мета-

новых заправок в регионах страны значительно увеличивается.

Сжиженный нефтяной газ в основном применяется при эксплуатации автобусов малой и средней вместимости, малотоннажного грузового транспорта и легковых автомобилей. При этом рядом исследований установлено, что при эксплуатации газобаллонных автомобилей происходит увеличение его расхода в условиях низких температур воздуха [9–14]. А при значениях ниже  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  может произойти отказ его работы, что влияет на надежность транспортного средства. Это вызвано физико-химическим составом газов, содержащихся в пропан-бутановой смеси.

Таким образом, для России и стран с длительными низкотемпературными периодами является актуальным изучение влияния природно-климатических условий на расход топлива автомобилей, использующих сжиженный нефтяной газ.

### Объект и методы исследования

Целью работы является выявление закономерности изменения расхода топлива газобаллонного автомобиля, работающего на сжиженном углеводородном газе в переменных природно-климатических условиях.

Предметом исследования является легковой двухтопливный автомобиль Mitsubishi Lancer X (четвертый экологический класс). Марка двигателя 4A91 объемом  $1499\text{ м}^3$  и мощностью 109 л. с. На транспортном средстве используется итальянское газобаллонное оборудование четвертого поколения Zavoli N 813 KINJ-4N / LIGHT. Газовый редуктор – Zavoli ZETA N, форсунки Zavoli Jet, электромагнитный клапан BRC Europa 2, контроллер Bora Light Ecu 4, газовый баллон БАЗ-53-630 Т объемом 53 л (со встроенным электромагнитным клапаном BRC Europa 2), выносное заправочное устройство Tomasetto 15 см (рис. 1).



Рис. 1. Внешний вид элементов конструкции газобаллонного оборудования Zavoli N 813 KINJ-4N / LIGHT

Стоит отметить, что данный автомобиль заводом-изготовителем сконструирован только для работы на бензине. Газобаллонное оборудование (ГБО) установлено дополнительно в специализированном автосервисе. Установка газобаллонного оборудования на транспортное средство соответствует ГОСТ 31972-2013 Автомобильные транспортные средства. Порядок и процедуры методов контроля установки газобаллонного оборудования. Согласно данному стандарту, специализированные сервисы обеспечивают переоборудование транспортного средства. После этого выдают сопроводительные документы для ГИБДД. Стоит отметить, что при использовании ГБО необходимо проходить переосвидетельствование газового баллона не реже, чем один раз в два года.

### Постановка эксперимента

Методика эксперимента предусматривала сбор данных по расходу сжиженного нефтяного газа при эксплуатации в различных температурных условиях.

Для того чтобы снизить влияние переменности дорожных и транспортных условий, компонентного состава газа, а также психофизиологических особенностей водителя и стиля его вождения на результаты эксперимента, был соблюден ряд условий. Эксплуатация автомобиля

осуществлялась в будние дни с 7:00 на одном и том же маршруте. Маршрут пролегал в границах города Тюмени (ул. В. Подшибякина, 17 – ул. Газовиков, 72 – ул. Республики, 129 – ул. Олимпийская, 9 – ул. М. Сперанского, 17 – ул. Котовского, 55 – ул. Ямская, 92 – ул. Широтная, 17/2 – ул. В. Подшибякина, 19) (рис. 2).

Заправка производилась на одной и той же АГЗС. Кроме того, автомобилем управлял один и тот же водитель.

Перед каждым замером в баллон заправлялось 20 литров газового топлива (37 % от общего объема газового баллона). При этом прогрев двигателя до рабочих значений температур осуществлялся на бензиновом топливе. Перед началом движения на газовом топливе обнулялся одометр, чтобы зафиксировать фактический пробег до полной выработки пропан-бутановой смеси.

### Результаты и выводы

Экспериментальные исследования проводились в период 2020–2021 гг. Всего было получено 56 результатов расхода газового топлива при среднесуточных температурах от  $-30$  до  $+30$  °С. Однако в итоговые результаты был включен диапазон температур от  $-19$  до  $+30$  °С, так как при температурах от  $-30$  до  $-20$  °С наблюдалась не-

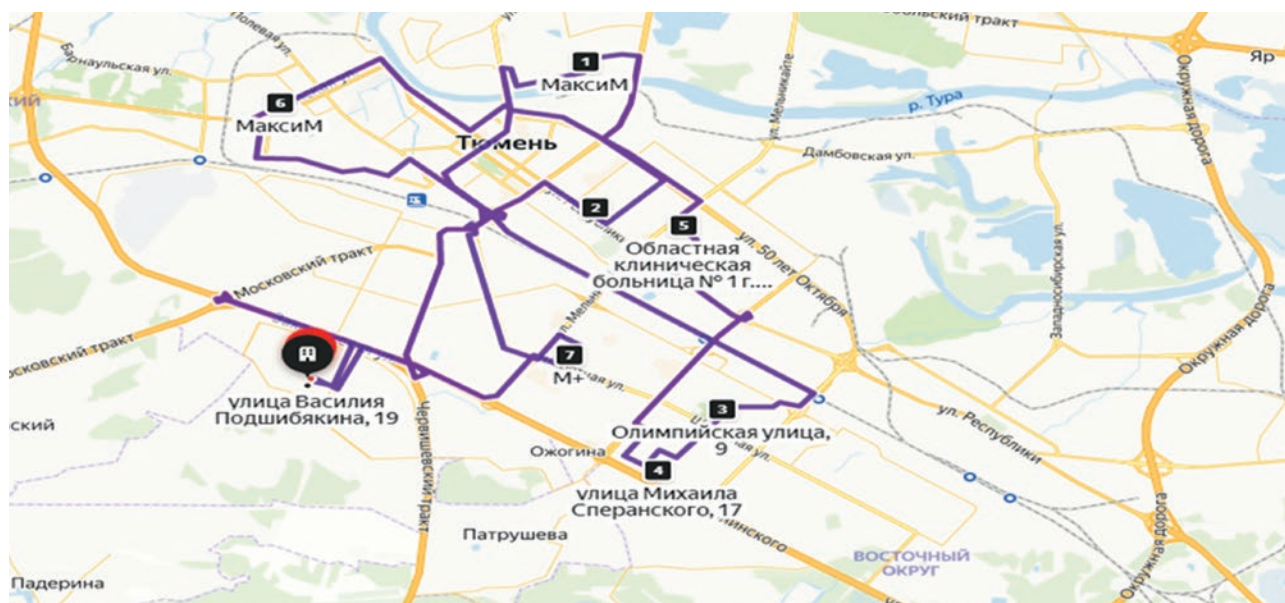


Рис. 2. Маршрут движения автомобиля при проведении эксперимента

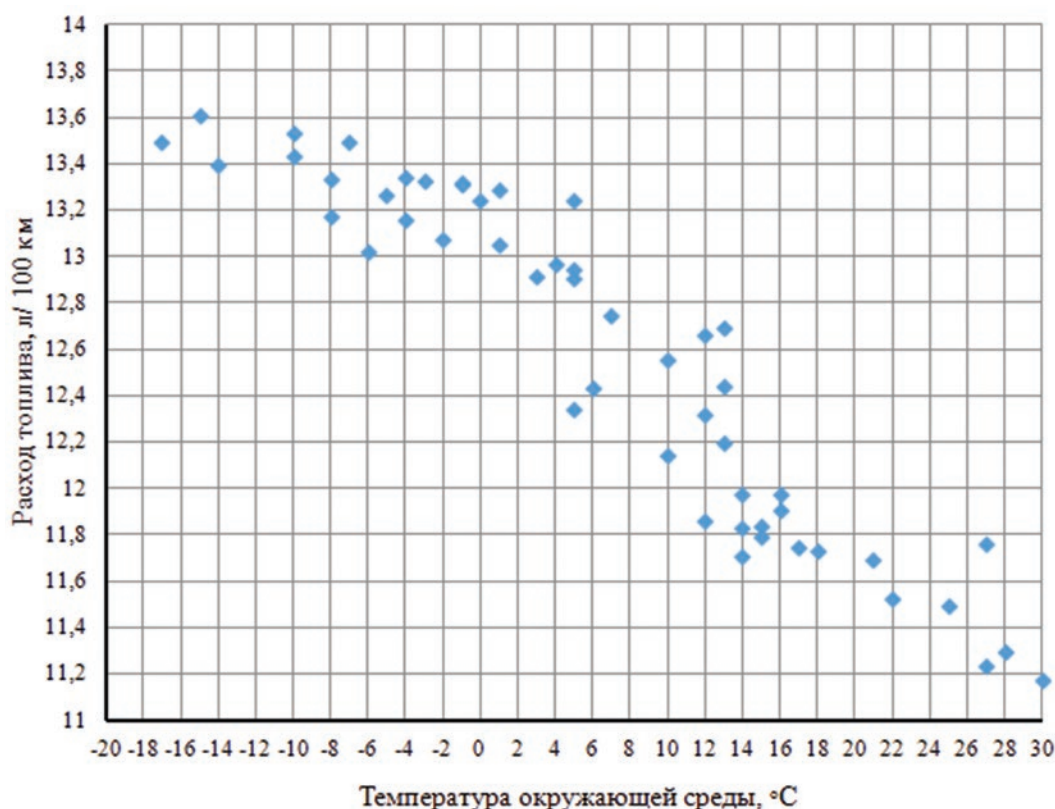


Рис. 3. Результаты эксперимента по определению зависимости расхода сжиженного нефтяного газа от температуры окружающего воздуха

стабильная работа двигателя на пропан-бутановой смеси (рис. 3).

Также из результатов исследований были исключены anomalно высокие значения расхода топлива, которые были связаны с загрязнением фильтров газобаллонного оборудования. После установления таких значений производилась диагностика и калибровка газобаллонного оборудования в специализированном сервисе.

Анализируя значения на рис. 3, можно отметить три температурных интервала. В первом температурном диапазоне от  $-19$  до  $+1$  °C расход топлива уменьшается с 13,5 до 13,1 л/100 км, разница составляет 0,4 л. Во втором температурном диапазоне от  $+2$  до  $+18$  °C зафиксировано наибольшее изменение расхода топлива относительно других диапазонов. Изменение составило 1,3 л/100 км, а расход топлива увеличивался с 11,6 до 12,9 л/100 км. В третьем температурном диапазоне от  $+18$  до  $+30$  °C расход топлива менялся на 0,5 л от 11,7 до 11,2 л/100 км.

Таким образом, можно установить, что на исследуемом автомобиле наблюдается тенденция к увеличению расхода топлива при снижении температуры от  $+30$  до  $-20$  °C. Это можно объяснить особенностями смесеобразования частиц пропан-бутана с холодным воздухом. Другой причиной может являться химический состав топлива, так как при отрицательных температурах используется смесь, содержащая 90 % пропана и 10 % бутана, а в случае с положительными значениями температур содержание пропана и бутана приблизительно одинаковое и составляет по 50 %.

На основе проведенного исследования можно установить, что изменение расхода топлива между максимальным и минимальным значениями составляет 18 %. Данный факт необходимо учитывать при планировании финансовых расходов транспортных предприятий, которые эксплуатируют легковые газобаллонные автомобили в условиях низких значений температур.

---

### **Библиографический список**

1. Todorut, A. Replacing diesel buses with electric buses for sustainable public transportation and reduction of CO<sub>2</sub> emissions / A. Todorut, N. Cordos, C. Iclodean. – DOI: 10.15244/pjoes/112899. – Direct text // Polish Journal of Environmental Studies. – 2020. – Vol. 29. – Issue 5. – pp. 3339–3351.
2. Айриев, Р. С. Перспективы экологической транспортной системы в мегаполисе / Р. С. Айриев, М. А. Кудряшов. – Текст : непосредственный // Мир транспорта. – 2018. – Т. 16. – № 2 (75). – С. 220–232.
3. Горбунова, А. Д. Научное обоснование расположения зарядных станций для электромобилей / А. Д. Горбунова, И. А. Анисимов. – Текст : непосредственный // Прогрессивные технологии в транспортных системах : Сборник материалов XIV Международной научно-практической конференции, Оренбург, 20–22 ноября 2019 года / Министерство науки и высшего образования Российской Федерации ; Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный университет». – Оренбург : Оренбургский государственный университет, 2019. – С. 158–162.
4. Сахапов, Р. Л. Электробус : за и против / Р. Л. Сахапов, М. А. Замилев. – Текст : непосредственный // Техника и технология транспорта. – 2018. – № 3 (8). – С. 11.
5. Рынок газомоторного топлива в России вырос вопреки влиянию коронавируса. – Ведомости : [сайт]. – URL : <https://www.vedomosti.ru/business/articles/2021/01/21/855025-rinok-gazomotornogo>. – Текст : электронный (дата обращения : 20.08.2021).
6. Бондаренко, Е. В. Оценка использования некоторых видов моторного топлива по критериям экологической безопасности / Е. В. Бондаренко, А. А. Филиппов. – Текст : непосредственный // Автогазозаправочный комплекс + Альтернативное топливо. – 2010. – № 4 (52). – С. 31–35.
7. Ерохов, В. И. Газодизельная система питания нового поколения / В. И. Ерохов. – Текст : непосредственный // Автогазозаправочный комплекс + Альтернативное топливо. – 2013. – № 9 (78). – С. 15–23.
8. Смольникова, А. Е. Сжиженный углеводородный газ – топливо будущего / А. Е. Смольникова, Е. В. Янчуковская. – Текст : непосредственный // Переработка природного сырья : сборник научных трудов студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых Института металлургии и химической технологии им. С. Б. Леонова / Иркутский национальный исследовательский технический университет. – Иркутск : Иркутский национальный исследовательский технический университет, 2015. – С. 115–117.
9. Гаваев, А. С. Приспособленность газобаллонных автомобилей к низкотемпературным условиям эксплуатации по токсичности отработавших газов и расходу топлива : специальность 05.22.10 «Эксплуатация автомобильного транспорта» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Гаваев Александр Сергеевич ; Тюменский государственный нефтегазовый университет. – Тюмень, 2007. – 155 с. – Текст : непосредственный.
10. Гаваев, А. С. Оценка влияния температуры окружающего воздуха на изменение расхода топлива газобаллонных автомобилей / А. С. Гаваев, Д. А. Чайников, В. А. Свистунова. – Текст : непосредственный // Автогазозаправочный комплекс + Альтернативное топливо. – 2016. – № 4 (109). – С. 8–11.
11. Иванов, А. С. Приспособленность газодизельных автомобилей к низкотемпературным условиям эксплуатации и массе перевозимого груза по расходу топлива и токсичности отработавших газов : специальность 05.22.10 «Эксплуатация автомобильного транспорта» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Иванов Андрей Сергеевич ; Тюменский государственный нефтегазовый университет. – Тюмень, 2011. – 155 с. – Текст : непосредственный.
12. 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.] ; отв. ред. И. А. Анисимов. – Тюмень, Тюменский государственный нефтегазовый университет, 2013. – 296 с. – Текст : непосредственный.
13. Современные проблемы эксплуатации автомобилей в условиях низких температур независимо от климатической зоны / А. В. Неговора, М. М. Разяпов, П. Г. Курдин, [и др.]. – Текст : непосредственный // Журнал автомобильных инженеров. – 2017. – № 4 (105). – С. 36–41.
14. Чикишев, Е. М. Оценка приспособленности газобаллонных автомобилей к низкотемпературным условиям эксплуатации по расходу топлива и токсичности отработавших газов : специальность 05.22.10 «Эксплуатация автомобильного транспорта» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Чикишев Евгений Михайлович ; Тюменский государственный нефтегазовый университет. – Тюмень, 2011. – 189 с. – Текст : непосредственный.

### References

1. Todorut, A., Cordos, N., & Iclodean, C. (2020). Replacing diesel buses with electric buses for sustainable public transportation and reduction of CO<sub>2</sub> emissions. *Polish Journal of Environmental Studies*, 5(29), pp. 3339-3351. (In English). DOI: 10.15244/pjoes/112899
2. Ayriev, R. S., & Kudryashov, M. A. (2018). Outlook on development of ecological transport system in a megalopolis. *World of Transport and Transportation Journal*, 2(75), pp. 220-232. (In Russian).
3. Gorbunova, A. D., & Anisimov, I. A. (2019). Scientific substantiation of the charging station location for electric cars. *Progressivnye tekhnologii v transportnykh sistemakh: Sbornik materialov XIV Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*, November 20-22. Orenburg, Orenburg State University Publ., pp. 158-162. (In Russian).
4. Sakhapov, R. L., & Zamilev, M. A. (2018). Electric bus: pros and cons. *Technique and Technology of Transport*, 3(8), P. 11. (In Russian).
5. Rynok gazomotornogo topliva v Rossii vyros vopreki vliyaniyu koronavirusa. *Vedomosti*. (In Russian). Available at: <https://www.vedomosti.ru/business/articles/2021/01/21/855025-rinok-gazomotornogo> (date of the application: 20.08.2021).
6. Bondarenko, E. V., & Filippov, A. A. (2010). Evaluation of use of certain types of motor fuel for environmental safety criteria. *Autogas filling complex + Alternative fuel*, 4(52), pp. 31-35. (In Russian).
7. Yerokhov, V. I. (2013). Gazodyzl new generation supply system. *Autogas filling complex + Alternative fuel*, 9(78), pp. 15-23. (In Russian).
8. Smol'nikova, A. E., & Yanchukovskaya, E. V. (2015). Szhizhenny ulevodorodnyy gaz – toplivo budushchego. *Pererabotka prirodnogo syr'ya: sbornik nauchnykh trudov studentov, magistrantov, aspirantov i molodykh uchenykh Instituta metallurgii i khimicheskoy tekhnologii im. S. B. Leonova*. Irkutsk, Irkutsk National Research Technical University Publ., pp. 115-117. (In Russian).
9. Gavaev, A. S. (2007). *Prisposoblennost' gazoballonnykh avtomobiley k nizkotemperaturnym usloviyam ekspluatatsii po toksichnosti otrabotavshikh gazov i raskhodu topliva*. Diss. kand. tekhn. nauk. Tyumen, 155 p. (In Russian).
10. Gavaev, A. S., Chainikov, D. A., & Svistunova, V. A. (2016). Assessment of ambient temperature impact on the change of gas-cylinder vehicle. *Autogas filling complex + Alternative fuel*, 4(109), pp. 8-11. (In Russian).
11. Ivanov, A. S. (2011). *Prisposoblennost' gazodizel'nykh avtomobiley k nizkotemperaturnym usloviyam ekspluatatsii i masse perevozimogo gruzha po raskhodu topliva i toksichnosti otrabotavshikh gazov*. Diss. kand. tekhn. nauk. Tyumen, 155 p. (In Russian).
12. Anisimov, I. A., Ivanov, A. S., Chikishev, E. M., Belov, A. G., & Gavaev, A. S. (2013). *Prisposoblennost' gazoballonnykh avtomobiley k nizkotemperaturnym usloviyam ekspluatatsii po raskhodu topliva*

---

i vybrosam vrednykh veshchestv s otrabotavshimi gazami. Tyumen, Industrial University of Tyumen Publ., 296 p. (In Russian).

13. Negovora, A. V., Razyarov, M. M., Kurdin, P. G., Filippov, Y. K., & Tokarev, V. A. (2017). Modern problems of operation of the automobiles in the conditions of low temperatures irrespective of a climatic zone. *Zurnal AAI*, 4(105), pp. 36-41. (In Russian).
14. Chikishev, E. M. (2011). Otsenka prisposoblennosti gazoballonnykh avtomobiley k nizkotemperaturnym usloviyam ekspluatatsii po raskhodu topliva i toksichnosti otrabotavshikh gazov. Diss. kand. tekhn. nauk. – Tyumen, 189 p. (In Russian).

#### **Сведения об авторах**

Рехалов Роман Олегович, магистрант кафедры эксплуатации автомобильного транспорта, Тюменский индустриальный университет, e-mail: roma.rehalov@yandex.ru

Чикишев Евгений Михайлович, к. т. н., доцент кафедры эксплуатации автомобильного транспорта, Тюменский индустриальный университет, e-mail: chikishevem@tyuiu.ru

#### **Information about the authors**

Roman O. Rehalov, Master's Student at the Department of Road Transport Operation, Industrial University of Tyumen, e-mail: roma.rehalov@yandex.ru

Evgeniy M. Chikishev, Candidate of Engineering, Associate Professor at the Department of Road Transport Operation, Industrial University of Tyumen, e-mail: chikishevem@tyuiu.ru

**Для цитирования:** 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. – DOI: 10.31660/2782-232X-2021-3-60-67. – Текст : непосредственный // Архитектура, строительство, транспорт. – 2021. – № 3. – С. 60–67.

**For citation:** Rehalov, R. O., & Chikishev, E. M. (2021). Research of the air temperature influence on fuel consumption of a passenger car converted to operate on liquefied petroleum gas. *Arkhitektura, stroitel'stvo, transport* [Architecture, construction, transport], (3), pp. 60-67. (In Russian). DOI: 10.31660/2782-232X-2021-3-60-67.