



Кратковременная топливная коррекция бензинового двигателя по напряжению датчика кислорода в процессе эксплуатации автомобиля

Б. У. Акунов✉, К. А. Имаров

Кыргызский государственный технический университет имени И. Раззакова, пр. Чынгыза Айтматова, 66, Бишкек, 720044, Кыргызская Республика

✉ akunov1@yandex.ru



Аннотация. Объектом исследования являлась топливная коррекция топливно-воздушной смеси, в частности, кратковременная топливная коррекция по изменению напряжения датчика кислорода, установленного перед каталитическим нейтрализатором, в процессе эксплуатации автомобиля. Экспериментальные исследования проводились на автомобильной дороге Бишкек – Ош (Кыргызская Республика), которая проходит на высоте 750–3200 м над уровнем моря. Для нее характерны равнинные, горные и высокогорные условия эксплуатации автомобилей. На основании результатов экспериментальных исследований построены графики зависимости кратковременной топливной коррекции от изменения напряжения датчика кислорода при эксплуатации автомобиля. Отмечено, что по значениям параметров топливной коррекции можно оценить состояние топливно-воздушной смеси, а также сделать заключение о техническом состоянии датчиков, систем и механизмов двигателя и элементов выхлопной системы автомобиля. Выявлено, что при работе двигателя в штатном режиме, когда колебание показателей топливной коррекции составляет $\pm 10\%$, топливно-экономические и экологические показатели будут находиться в требуемой норме. Также следует признать, что современные автомобильные двигатели оснащены системой различных датчиков и электронным блоком управления двигателем, но имеют свои определенные недостатки в обеспечении стехиометрического состава топливно-воздушной смеси ($\lambda = 1$).

Ключевые слова: электронный блок управления двигателем, стехиометрический состав топливно-воздушной смеси, коэффициент избытка воздуха, оптимальный состав топливно-воздушной смеси, длительность импульса открытия форсунки, топливная коррекция, кратковременная топливная коррекция, напряжение датчика кислорода

Благодарности. Авторы выражают признательность Мамадиевой Г. С. за помощь в оформлении рукописи перед отправкой в редакцию.

Для цитирования: Акунов Б. У., Имаров К. А. Кратковременная топливная коррекция бензинового двигателя по напряжению датчика кислорода в процессе эксплуатации автомобиля. *Архитектура, строительство, транспорт*. 2024;(3):86–98. <https://doi.org/10.31660/2782-232X-2024-3-86-98>

Short-term fuel trim of petrol engine by oxygen sensor voltage during vehicle operation

Bakytbek U. Akunov✉, Kubatbek A. Imarov

Kyrgyz State Technical University named after I. Razzakov, 66 Ch. Aitmatov avenue, Bishkek, 720044, Kyrgyz Republic

✉ akunov1@yandex.ru



Abstract. The object of the study was fuel trim of the air-fuel mixture, in particular, short-term fuel trim by voltage change of the oxygen sensor installed before the catalytic converter during vehicle operation. Experimental studies were on the Bishkek – Osh (Kyrgyz Republic) highway at an altitude of 750–3200 m above sea level. It is characterized by flat, mountainous and high mountainous vehicle operating conditions. The experimental studies results were used to graph the dependence of short-term fuel trim on the change of oxygen sensor voltage during vehicle operation. The values of fuel trim parameters can be used to assess the state of the air-fuel mixture, as well as to make a conclusion about the technical condition of sensors, systems and mechanisms of the engine and elements of the car exhaust system. In addition, in normal operation of the engine, when the fluctuation of fuel correction indicators is $\pm 10\%$, fuel-economic and environmental indicators will be in fit. It should also be recognized that the modern automobile engines have a system of various sensors and electronic engine control unit, but they have their certain disadvantages in ensuring the stoichiometric composition of the air-fuel mixture ($\lambda = 1$).

Keywords: electronic engine control unit, stoichiometric fuel-air mixture composition, air-fuel ratio, optimum fuel-air mixture composition, pulse duration of injector opening, fuel trim, short-term fuel trim, oxygen sensor voltage

Acknowledgements. The authors would like to thank G. S. Mamadieva for her assistance in the preparation of the manuscript before sending it to the editorial office.

For citation: Akunov B. U., Imarov K. A. Short-term fuel trim of petrol engine by oxygen sensor voltage during vehicle operation. *Architecture, Construction, Transport*. 2024;(3):86–98. (In Russ.) <https://doi.org/10.31660/2782-232X-2024-3-86-98>



1. Введение

Как известно, основная задача производителей автомобилей в мире заключается в минимизации расхода топлива и выбросов вредных веществ в отработавших газах автомобиля. Теоретически снизить расход топлива и минимизировать ($\min \rightarrow 0$) выбросы вредных веществ в отработавших газах возможно при образовании стехиометрического состава топливно-воздушной смеси (на одну часть бензина – 14.7 частей воздуха, т. е. коэффициент избытка воздуха $\lambda = 1$)¹ [1, 2]. Но на практике, в реальных условиях эксплуатации автомобиля, не всегда удается создать такое соотношение состава топливно-воздушной смеси. В связи с этим часто используется термин *образование оптимального состава топливно-воздушной смеси* перед поступлением в цилиндры двигателя.

Вопросам образования оптимального состава топливно-воздушной смеси при эксплуатации автомобилей в различных условиях посвящено много научных исследований [3–8]. Но ни в одном из них не идет речь о роли топливной коррекции при образовании оптимального состава топливно-воздушной смеси.

Важно подчеркнуть, что эти работы, опубликованные в научных журналах с 2011 по 2017 год [3–8], посвящены двигателям автомобилей, где смесеобразование воздуха с топливом происходит в карбюраторе, и проблемам автомобилей с дизельными двигателями, которые были актуальны 40–45 лет назад при эксплуатации автомобилей в горных, высокогорных и высокотемпературных условиях. Авторы рассматривают и приводят результаты исследований работы двигателей старых автомобилей, не оснащенных электронными системами управления силовыми агрегатами.

¹ Toalston D. What are fuel trims? Available at: <https://www.obd-codes.com/faq/fuel-trims.php> (accessed: 23.03.2024).

Современные автомобили оснащены различными датчиками, которые связаны с работой электронного блока управления (ЭБУ) двигателем, а также другими агрегатами и узлами автомобиля² [9]. В этом плане для образования оптимального состава топливно-воздушной смеси особую значимость имеет топливная коррекция (Fuel Trim). Топливная коррекция производится ЭБУ двигателем на основании информации, полученной от датчиков систем и механизмов двигателя и элементов выхлопной системы автомобиля. Поэтому объектом исследования в данной работе являлась топливная коррекция топливно-воздушной смеси, в частности, кратковременная топливная коррекция по изменению напряжения датчика кислорода, установленного перед каталитическим нейтрализатором, т. е. первого датчика кислорода (Lambda Probe Bank 1 Sensor 1), где учитывается изменение напряжения датчика кислорода в процессе эксплуатации автомобиля.

Общеизвестно, что ЭБУ двигателем для образования оптимального состава топливно-воздушной смеси сначала рассчитывает необходимое количество топлива, которое происходит по следующей схеме³:

- формирование базовой длительности импульса открытия форсунки (базового времени впрыска топлива), мс;
- коррекция длительности импульса впрыска топлива по условиям эксплуатации;
- коррекция длительности импульса впрыска топлива по напряжению бортовой сети автомобиля.

В реальном режиме работы двигателя вначале ЭБУ двигателем определяет параметры базовой длительности импульса открытия форсунки, т. е. параметры базового количества необходимого топлива и значение угла опережения зажигания на основании данных показателей оборотов коленчатого вала и нагрузки на двигатель. Эти значения считываются из соответствующих таблиц в виде матрицы, запрограммированных заводом-изготовителем автомобиля, и корректируются с использованием поправочного коэффициента, называемого топливной коррекцией (Fuel Trim)⁴ [12]. После этого производится коррекция состава смеси, которая учитывает текущие параметры системы, то есть состояние двигателя и его систем в настоящее время. В данном случае к текущим состояниям двигателя и его систем в процессе эксплуатации автомобиля относятся следующие параметры выходящих рабочих процессов и параметры окружающей среды⁵:

- температура жидкости в системе охлаждения двигателя;
- температура воздуха во впускном коллекторе перед поступлением в цилиндры двигателя;
- положение дроссельной заслонки в открытом, приоткрытом или закрытом состоянии в процентах (или градусах угла поворота заслонки);
- выделяемый состав отработавших газов в выхлопной системе автомобиля;
- давление подачи топлива к форсункам, создаваемое топливным насосом и в топливной рампе системы питания автомобиля;
- изменение давления и плотности воздуха окружающей среды с повышением высоты над уровнем моря;
- изменение в зависимости от погодных условий и времени года параметров окружающего воздуха – давления, плотности, температуры и влажности воздуха.

² Khayal O. Sensors in automobiles, internal combustion engines sensors. Available at: https://www.academia.edu/43693138/SENSORS_IN_AUTOMOBILES_INTERNAL_COMBUSTION_ENGINES_SENSORS (accessed: 04.03.2023).

³ Leshchenko V. P. Параметры коррекции состава воздушно-топливной смеси. Расчет базовой длительности количества топлива. Режим доступа: <https://studylib.ru/doc/2020093/parametry-korrekcii-sostava-vozdushno> (дата обращения: 16.03.2024).

⁴ Там же.

⁵ Там же.

Как известно, многие сканеры и программные обеспечения при диагностировании механизмов и узлов двигателя и элементов выхлопной системы автомобиля в основном показывают числовые значения параметров топливной коррекции в процентах (некоторые – в коэффициентах). Исходя из этого, можно утверждать, что топливная коррекция (Fuel Trim) – это параметр, который показывает в процентах, насколько необходимо изменить длительность импульса открытия форсунок, т. е. длительность подачи топлива форсунками для поддержания оптимального состава топливно-воздушной смеси $\lambda \approx 1$.

Необходимо подчеркнуть, что при диагностировании узлов и механизмов двигателя и элементов выхлопной системы автомобиля используют два взаимосвязанных между собой вида топливной коррекции топливно-воздушной смеси: долговременную (Long Term Fuel Trim – LTFT) и кратковременную (Short Term Fuel Trim – STFT) [2, 13].

Исходя из этого, в данной работе авторами была поставлена задача провести анализ изменения показателей топливной коррекции в процессе эксплуатации автомобиля и его влияния на смесиобразование воздуха и топлива в двигателе.

2. Материалы и методы

Целью данной работы являлся экспериментальный анализ изменения показания кратковременной топливной коррекции в зависимости от изменения значения напряжения первого датчика кислорода при образовании топливно-воздушной смеси в процессе эксплуатации автомобиля.

Необходимо отметить, что в процессе диагностирования систем, узлов и механизмов двигателя и элементов выхлопной системы автомобиля используют еще один вид коррекции (кроме коррекции по напряжению первого датчика кислорода) – так называемую общую кратковременную топливную коррекцию (экран сканера показывает просто кратковременную топливную коррекцию). В данном случае учитываются изменения всех показателей параметров других датчиков, узлов и механизмов двигателя и элементов выхлопной системы, в том числе изменение напряжения первого датчика кислорода.

Кратковременная топливная коррекция по изменению напряжения датчика кислорода, которая рассматривается в данной работе, – это непрерывная топливная коррекция длительности импульса открытия форсунки, т. е. времени подачи топлива форсункой, где учитывается только изменение напряжения первого датчика кислорода – Bank 1 Sensor 1. Следует отметить, что изменение напряжения первого датчика происходит в зависимости от количества остаточного кислорода в составе отработавших газов в процессе эксплуатации автомобиля, и это изменение напряжения датчика кислорода передается ЭБУ двигателем для корректировки длительности импульса открытия форсунки, т. е. времени подачи топлива форсункой. Отмечается, что колебание напряжения исправного датчика кислорода должно происходить в пределах от $0.04 \div 0.1$ до $0.80 \div 0.85$ В⁶. Среднее значение напряжения датчика кислорода – 0.45 В – считается стехиометрическим, при котором $\lambda = 1$. Это говорит о том, что ЭБУ двигателем контролирует образование стехиометрического состава топливно-воздушной смеси, т. е. $\lambda = 1$, перед поступлением ее в камеру сгорания двигателя.

Но на практике вышеуказанное оптимальное значение напряжения датчика кислорода не всегда соответствует 0.45 В. Это объясняется влиянием внешних условий эксплуатации автомобиля, а также износом – техническим состоянием систем, узлов и механизмов двигателя и элементов выхлопной системы. Например, бывают случаи, когда оптимальное значение напряжения датчика кислорода составляет $0.5 \div 0.6$ В. Таким образом, оптимальное значение напряжения датчика кислорода, которое часто

⁶ Пахомов А. Как проверить лямбда зонд на работоспособность. Режим доступа: <https://pakhomov-school.ru/articles/diagnostika/proveryaem-lyambda-zond/> (дата обращения: 16.03.2024).

упоминается в данной работе, подразумевает под собой окно оптимальности или зону образования оптимального состава топливно-воздушной среды.

Для анализа показателей кратковременной топливной коррекции с учетом изменения значения напряжения первого датчика кислорода при образовании топливно-воздушной смеси в реальных условиях эксплуатации автомобиля проведен ряд экспериментальных исследований на автомобилях Toyota Corolla Verso с двигателем 3ZZ-FE, Toyota Avensis с двигателем 4A-FE, Mitsubishi Space Star с двигателем 4G18. Исследование осуществлялось при различных погодных условиях. Двигатели автомобилей были оснащены системой распределенного впрыска топлива (MPI), способ подачи топлива – фазированный (синхронный). В данной работе представлены только данные исследований автомобиля Toyota Corolla Verso, поскольку результаты экспериментальных исследований по указанным автомобилям объемны и аналогичны.

Как известно, на современных автомобилях устанавливают датчики кислорода на основе диоксида циркония (циркониевые) или оксида титана (титановые). На исследуемых автомобилях установлены датчики кислорода на основе диоксида циркония [11]. Экспериментальные исследования проводились на автомобильной дороге Бишкек – Ош, которая соединяет северные регионы Кыргызской Республики с южными регионами. Дорога проходит на высоте 750–3200 м над уровнем моря, для нее характерны равнинные, горные и высокогорные условия эксплуатации автомобилей. Из-за ограничения объема статьи в данной работе рассмотрен равнинный участок автомобильной дороги Бишкек – Ош от города Кара-Балта до поста «Сосновка» (61–71.3 км). Высота местности составляет 770–969 м над уровнем моря.

При проведении экспериментальных исследований использовались программное обеспечение MotorData, которое установлено на компьютер, и адаптер Openport 2.0 с кабелем USB для подключения компьютера к DLC (Data Link Connector) разъему автомобиля, т. е. к системе бортовой самодиагностики EOBD (European on Board Diagnostic – Европейская бортовая диагностическая система, основанная на спецификации OBD-II) автомобиля. При этом при работе двигателя на холостом ходу и при движении автомобиля на различных участках автомобильной дороги Бишкек – Ош фиксировались показатели следующих параметров: скорости движения автомобиля; обороты коленчатого вала двигателя; температура охлаждающей жидкости двигателя и поступающего воздуха во впускном коллекторе; массовый расход воздуха; длительность импульса открытия форсунки; угол опережения зажигания; абсолютное положение дроссельной заслонки (в процентах); напряжения, вырабатываемые датчиками кислорода до и после каталитического нейтрализатора; долговременная и кратковременная топливные коррекции, а также кратковременная топливная коррекция по первому датчику кислорода.

3. Результаты и обсуждение

На основании статистической обработки результатов исследований движения автомобиля на различных скоростных режимах были построены графики зависимости показателей кратковременной топливной коррекции (STFT) от изменения напряжения первого датчика кислорода (Bank 1 Sensor 1 – B1S1) в процентах (рис. 1 и 2).

Суть полученных графиков заключается в том, что значения показателей топливной коррекции являются параметрами, которые показывают изменения коэффициента избытка воздуха от стехиометрического состава топливно-воздушной смеси, т. е. $\lambda = 1$.

Таким образом, зная показатели топливной коррекции, можно определить коэффициент избытка воздуха топливно-воздушной смеси по выражению [10]:

$$\lambda = 1 + \left(\frac{K_{STFT B1S1}}{100} \right),$$

где $K_{STFT\ B1S1}$ – кратковременная топливная коррекция (STFT) по напряжению датчика кислорода топливно-воздушной смеси в процентах.

Следует подчеркнуть, что кратковременная топливная коррекция – это непрерывная коррекция, которая происходит 2-3 раза в секунду между небольшими положительными и отрицательными значениями в зависимости от условий эксплуатации автомобиля. Поэтому вид графика изменения напряжения (вольт) датчика кислорода и, соответственно, графика изменения показателя кратковременной топливной коррекции в процентах выглядит на экране компьютера (сканера, осциллографа) как синусоидальный, т. е. непрерывно скачет вверх, в сторону обогащения, и вниз, в сторону обеднения топливно-воздушной смеси.

Необходимо отметить, что графики на рис. 1 и 2 и таблицы 1–4 составлены для расстояния 10.3 км участка автомобильной дороги Бишкек – Ош (от города Кара-Балта до поста «Сосновка»). Из-за визуальной насыщенности и накладки показателей авторами было принято решение разделить это расстояние на два отрезка и отразить результаты исследования на четырех графиках и, соответственно, в четырех таблицах, чтобы показать наглядность изменения этих параметров.

На рис. 1 показаны графики зависимости кратковременной топливной коррекции (STFT) от изменения напряжения датчика кислорода при движении автомобиля Toyota Corolla Verso на различных скоростных режимах на участке 61–65 км.

Представим в табличном виде графики зависимости STFT от изменения напряжения датчика кислорода B1S1 (рис. 1) в процентах, принимая во внимание значения абсолютного положения дроссельной заслонки (таблицы 1 и 2).

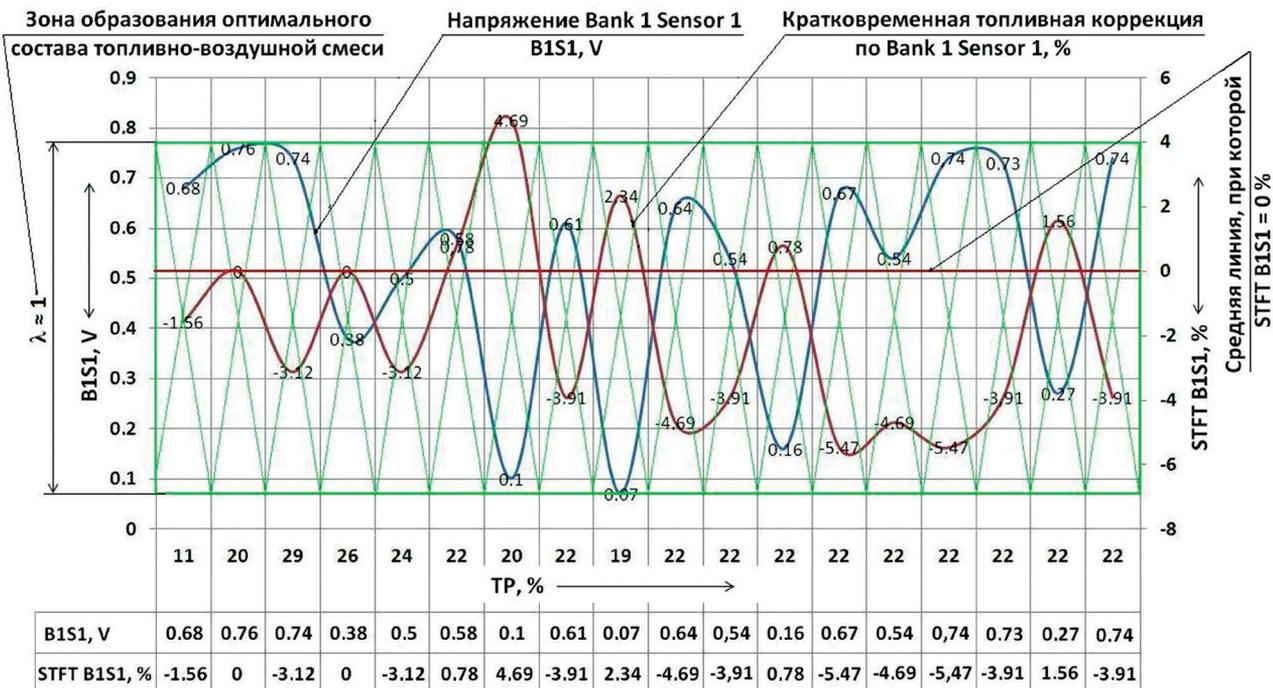
Как было сказано выше, основным показателем работы датчика кислорода является напряжение выходного сигнала, которое колеблется в пределах от 0.04–0.1 до 0.80–0.85 В несколько раз в секунду. При пониженном содержании остаточного кислорода в отработавших газах, вызванном работой двигателя на обогащенной топливно-воздушной смеси, датчик кислорода выдает сигнал высокого уровня напряжения 0.65–0.85 В. В данном случае кратковременная топливная коррекция по первому датчику кислорода выдает отрицательное значение в процентах об обогащении топливно-воздушной смеси. Например, на рис. 1а при $B1S1 = 0.74$ В STFT B1S1 показывает значение минус 5.47 %. В это время ЭБУ двигателем уменьшает длительность импульса открытия форсунок и снижает подачу топлива, чтобы довести значение STFT B1S1 до 0 %.

При повышенном содержании остаточного кислорода в отработавших газах, вызванной работой двигателя на обедненной топливно-воздушной смеси, датчик кислорода вырабатывает сигнал низкого уровня напряжения 0.04–0.35 В [11]. В этом случае кратковременная топливная коррекция по первому датчику кислорода выдает положительное значение в процентах об обеднении топливно-воздушной смеси. Например, на рис. 1а при $B1S1 = 0.07$ В STFT B1S1 показывает положительное значение 2.34 %. В данном случае ЭБУ двигателем увеличивает длительность импульса открытия форсунок, а также подачу топлива, чтобы довести значение STFT B1S1 до 0 %.

Колебание коэффициента избытка воздуха λ (таблицы 1 и 2) происходит в пределах от 0.94 до 1.05, в процентном отношении отклонение от стехиометрического состава топливно-воздушной смеси находится в пределах до 6 %, т. е. двигатель работает в штатном режиме (рис. 1). Это говорит об оптимальном составе топливно-воздушной смеси, т. е. $\lambda \approx 1$ (соотношение примерно 14.7:1).

При отклонении состава смеси от оптимального, например, до 20 %, происходит ухудшение топливной экономичности и изменение состава отработавших газов автомобиля. В данном случае ЭБУ двигателем определяет состав топливно-воздушной смеси, т. е. производит так называемое лямбда регулирование количества топлива, впрыскиваемого через форсунки во впускной коллектор двигателя по значению напряжения датчика кислорода (лямбда зонда), которое, в свою очередь, зависит от содержания остаточного кислорода в отработавших газах автомобиля [10].

a)



b)

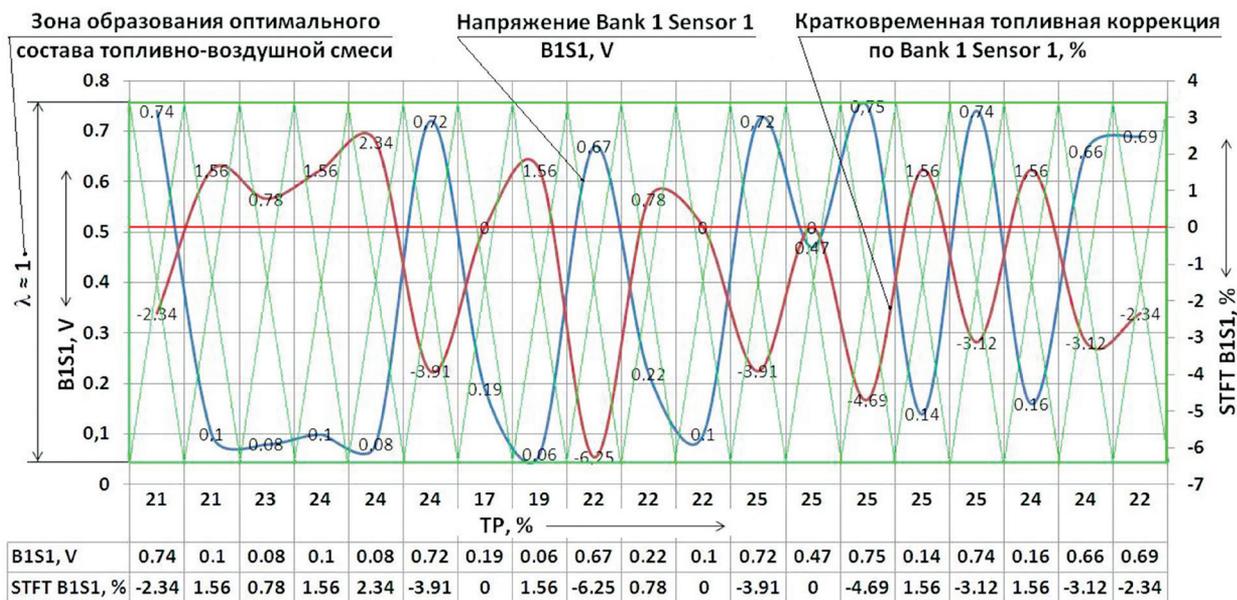


Рис. 1. Графики зависимости кратковременной топливной коррекции (STFT) от изменения напряжения датчика кислорода: а) данные, полученные при движении автомобиля на 61–63 км участка дороги; б) данные, полученные при движении автомобиля на 63–65 км участка дороги (составлены авторами)
 Fig. 1. Graphs of short-term fuel transform (STFT) dependence on oxygen sensor voltage variation: а) data obtained when the vehicle was driven at 61–63 km of the road section; б) data obtained when the vehicle was driven at 63–65 km of the road section (graphs obtained by the authors)

Таблица 1 / Table 1

Значения параметров для оценки состояния топливно-воздушной смеси
(данные, полученные на 61–63 км участка дороги)
Parameter values for air-fuel mixture condition assessment
(data obtained at 61–63 km of the road section)

Значение TP, %	11	20	29	26	24	22	20	22	19	22	22	22	22	22	22	22	22	22
Значение B1S1, V	0.68	0.76	0.74	0.38	0.5	0.58	0.1	0.61	0.07	0.64	0.54	0.16	0.67	0.54	0.74	0.73	0.27	0.74
Значение STFT, %	-1.56	0	-3.12	0	-3.12	0.78	4.69	-3.91	2.34	-4.69	-3.91	0.78	-5.47	-4.69	-5.47	-3.91	1.56	-3.91
Значение λ	0.98	1.0	0.97	1.0	0.97	1.01	1.05	0.96	1.02	0.95	0.96	1.01	0.945	0.95	0.945	0.96	0.98	0.96

Таблица 2 / Table 2

Значения параметров для оценки состояния топливно-воздушной смеси
(данные, полученные на 63–65 км участка дороги)
Parameter values for air-fuel mixture condition assessment
(data obtained at 63–65 km of the road section)

Значение TP, %	21	21	23	24	24	24	17	19	22	22	22	25	25	25	25	25	24	24	22
Значение B1S1, V	0.74	0.1	0.08	0.1	0.08	0.72	0.19	0.06	0.67	0.22	0.1	0.72	0.47	0.75	0.14	0.74	0.16	0.66	0.69
Значение STFT, %	-2.34	1.56	0.78	1.56	2.34	-3.91	0	1.56	-6.25	0.78	0	-3.91	0	-4.69	1.56	-3.12	1.56	-3.12	-2.34
Значение λ	0.98	1.02	1.01	1.02	1.02	0.96	1.0	1.02	0.94	1.01	1.0	0.96	1.0	0.95	1.02	0.97	1.02	0.97	0.98

Следует отметить, что среднее значение напряжения датчика кислорода – 0.45 В – считается стехиометрическим, при котором $\lambda = 1$, но при движении автомобиля в реальных условиях оно не всегда соответствует этому значению. Это зависит от количества остаточного кислорода в составе отработавших газов.

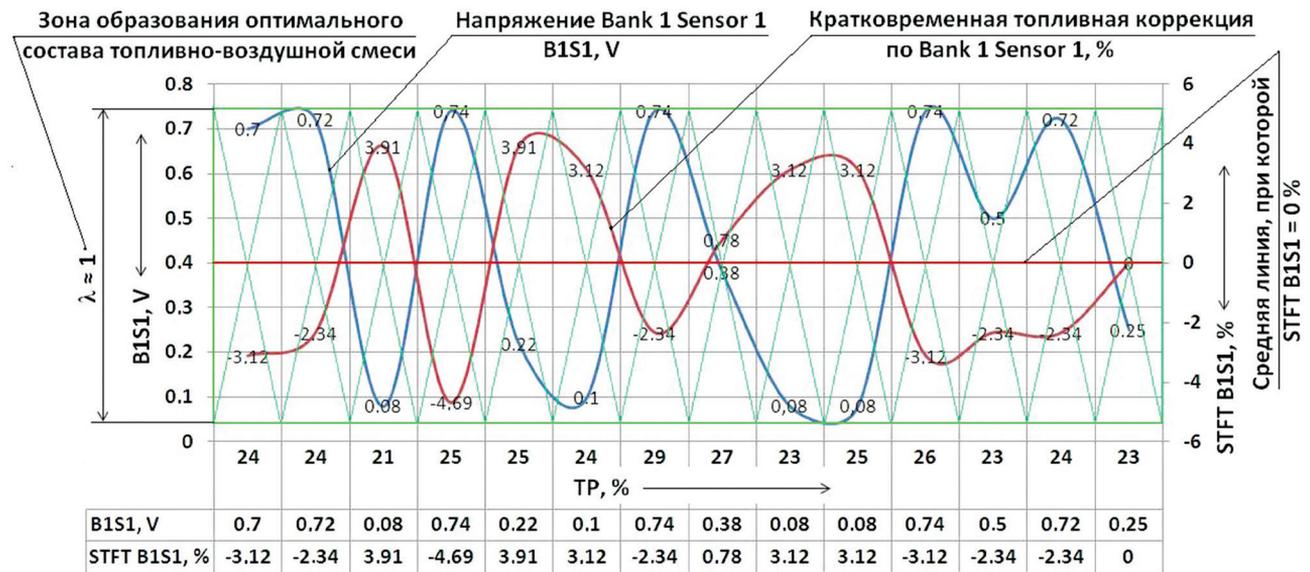
Согласно рис. 1, $\lambda = 1$ при значениях напряжения 0.76 и 0.38 В, так как при этих значениях кратковременная топливная коррекция составляет 0 % (таблица 1) и при значениях напряжения 0.19 и 0.47 В кратковременная топливная коррекция также составляет 0 % (таблица 2).

В соответствии с данными, представленными на рис. 1, кратковременная топливная коррекция равна 0 % при напряжении датчика кислорода 0.52 В (отмечено красной линией).

На рис. 2 показаны графики зависимости кратковременной топливной коррекции от изменения напряжения датчика кислорода при движении автомобиля на различных скоростных режимах на участке 65–71.3 км.

Представим в табличном виде графиков зависимости STFT от изменения напряжения датчика кислорода B1S1 в процентах (рис. 2), принимая во внимание значения абсолютного положения дроссельной заслонки (таблицы 3 и 4).

a)



b)

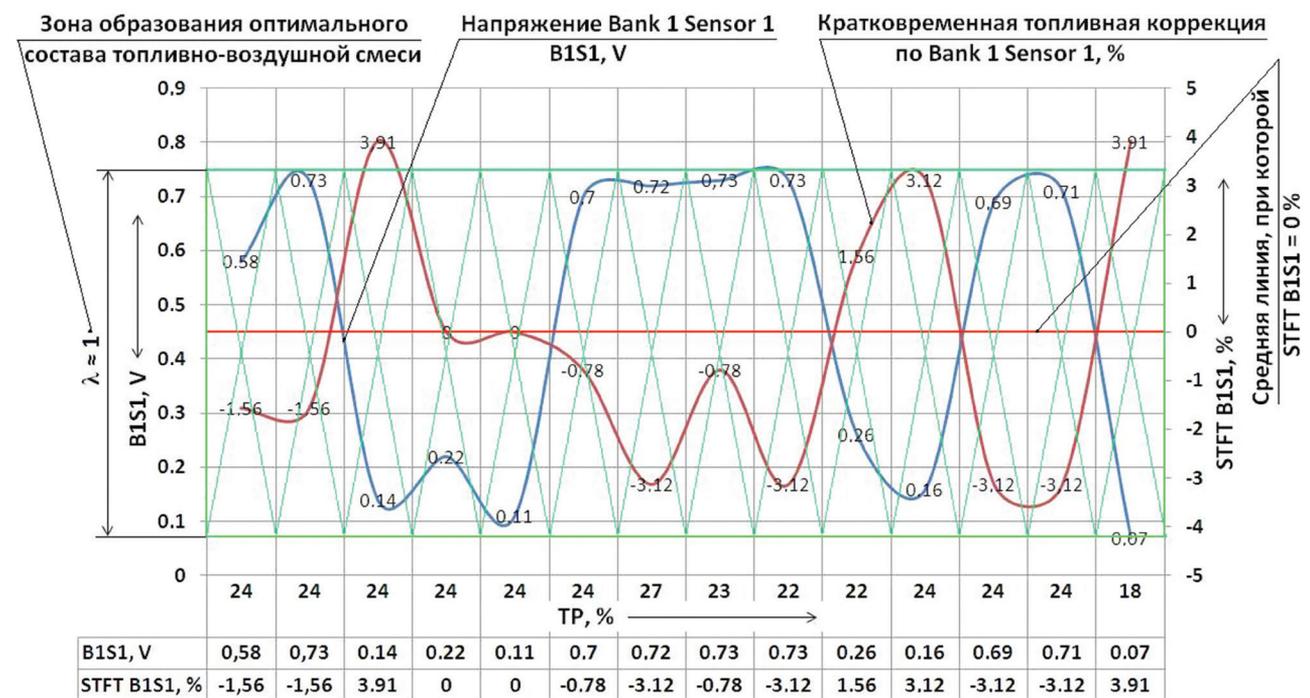


Рис. 2. Графики зависимости кратковременной топливной коррекции (STFT) от изменения напряжения датчика кислорода: а) данные, полученные при движении автомобиля на 65–68 км участка дороги; б) данные, полученные при движении автомобиля на 68–71.3 км участка дороги (составлены авторами)
 Fig. 2. Graphs of short-term fuel transform (STFT) dependence on oxygen sensor voltage variation: а) data obtained when the vehicle was driven at 65–68 km of the road section; б) data obtained when the vehicle was driven at 68–71.3 km of the road section (graphs obtained by the authors)

Таблица 3 / Table 3

Значения параметров для оценки состояния топливно-воздушной смеси
(данные, полученные на 65–68 км участка дороги)
Parameter values for air-fuel mixture condition assessment
(data obtained at 65–68 km of the road section)

Значение TP, %	24	24	21	25	25	24	29	27	23	25	26	23	24	23
Значение B1S1, V	0.7	0.72	0.08	0.74	0.22	0.1	0.74	0.38	0.08	0.08	0.74	0.5	0.72	0.25
Значение STFT, %	-3.12	-2.34	3.91	-4.69	3.91	3.12	-2.34	0.78	3.12	3.12	-3.12	-2.34	-2.34	0
Значение λ	0.97	0.98	1.04	0.95	1.04	1.03	0.98	0.01	1.03	1.03	0.97	0.98	0.98	1.0

Таблица 4 / Table 4

Значения параметров для оценки состояния топливно-воздушной смеси
(данные, полученные на 68–71.3 км участка дороги)
Parameter values for air-fuel mixture condition assessment
(data obtained at 68–71.3 km of the road section)

Значение TP, %	24	24	24	24	24	24	27	23	22	22	24	24	24	18
Значение B1S1, V	0.58	0.73	0.14	0.22	0.11	0.7	0.72	0.73	0.73	0.26	0.16	0.69	0.71	0.07
Значение STFT, %	-1.56	-1.56	3.91	0	0	-0.78	-3.12	-0.78	-3.12	1.56	3.12	-3.12	-3.12	3.91
Значение λ	0.98	0.98	1.04	1.0	1.0	0.99	0.97	0.99	0.97	1.02	1.03	0.97	0.97	1.04

Значение коэффициента избытка воздуха λ колеблется в пределах от 0.95 до 1.05, в процентном отношении отклонение от стехиометрического состава топливно-воздушной смеси составляет до 5 %. Это означает, что двигатель работает в штатном режиме.

При значении напряжения B1S1 = 0.25 В кратковременная топливная коррекция составляет 0 % (таблица 3), при значениях напряжения B1S1 = 0.11–0.22 В также равна 0 % (таблица 4). В соответствии с рис. 2, это же значение кратковременная топливная коррекция имеет при напряжении датчика кислорода 0.4 В (рис. 2a) и 0.45 В (рис. 2b) (отмечено красной линией). Следует отметить, что на рис. 2 и в таблицах 3 и 4 отражены процессы, происходящие при движении автомобиля на автомобильной дороге в реальных условиях.

Необходимо подчеркнуть, что на графиках рис. 1 значения STFT B1S1 = 0 % (средние линии, отмеченные красным цветом) соответствуют значениям напряжения датчика кислорода B1S1 = 0.52 В, а на графиках рис. 2 средние линии, при которых значения STFT B1S1 = 0 %, соответствуют значениям напряжения датчика кислорода B1S1 = 0.4 В (рис. 2a) и B1S1 = 0.45 В (рис. 2b). Полученные в реальных условиях значения могут не совпадать с теоретическим значением 0.45 В, которое, как было отмечено выше, считается стехиометрическим.

Это можно объяснить тем, что в процессе эксплуатации автомобиля на изменение технически исправного состояния влияют:

- внутренние факторы – нагрев из-за температурной нагрузки, загруженность деталей, механизмов и агрегатов при работе автомобиля, износ деталей кривошипно-шатунного и газораспределительного механизмов, износ деталей цилиндропоршневой группы узлов и механизмов двигателя и форсунок впрыска топлива, допусков на качество топлива и др.;
- внешние факторы условий эксплуатации автомобиля – изменение высоты рельефа местности над уровнем моря, состояние дорожного покрытия автомобильной дороги, изменение параметров окружающего воздуха – давления, плотности, температуры и влажности воздуха в зависимости от погодных условий и времени года.

4. Заключение

Показатели топливной коррекции являются параметрами, которые непосредственно отражают изменения коэффициента избытка воздуха $\lambda < 1 < \lambda$ в процессе эксплуатации автомобиля. Поэтому, зная показатели топливной коррекции, можно дать оценку коэффициенту избытка воздуха – топливно-воздушная смесь обогащена или обеднена.

Сущность графиков (рис. 1 и 2) и таблиц 1–4 заключается в том, чтобы показать зону образования оптимального состава топливно-воздушной смеси при эксплуатации автомобиля в различных условиях, а также среднюю линию, при которой STFT B1S1 стремится к 0 %.

Топливные коррекции (долговременная и кратковременная) являются основными параметрами при диагностировании систем и механизмов двигателя и элементов выхлопной системы автомобиля.

В автосервисных предприятиях диагностирование работы датчиков, систем и механизмов двигателя и элементов выхлопной системы автомобиля по параметрам топливных коррекций проводят обычно при работе двигателя автомобиля на холостом ходу, что приводит к неточностям при поиске неисправностей и отказов. Исключением могут быть автосервисные предприятия, где имеется необходимое технологическое оборудование для имитации движения автомобиля в различных условиях эксплуатации: городских, внегородских, равнинных, горных, высокогорных и т. д.

Поэтому диагностирование элементов систем и механизмов двигателя и элементов выхлопной системы автомобиля по параметрам топливных коррекций рекомендуется проводить для объективного поиска неисправностей и отказов при движении автомобиля, когда двигатель работает на различных нагрузочных и температурных режимах.

Как сказано выше, если колебание показателя топливной коррекции составляет минус 10 % < 0 % < плюс 10 %, то двигатель работает в обычном штатном режиме. Отклонение показателя от этого значения свидетельствует об ухудшении топливно-экономических и экологических показателей автомобиля из-за появления возможных неисправностей датчиков, систем и механизмов двигателя и элементов выхлопной системы автомобиля в процессе эксплуатации.

Современные автомобильные двигатели, оснащенные ЭБУ, в состоянии быстро адаптироваться к изменяющимся условиям – внутренним факторам, возникающим при работе автомобиля, и внешним факторам условий эксплуатации автомобиля, благодаря системе датчиков, контролирующей состав топливно-воздушной смеси. Однако и она имеет определенные ограничения. Поэтому ЭБУ двигателем не в состоянии обеспечить стехиометрический состав топливно-воздушной смеси ($\lambda = 1$).

Исходя из этого, можно заключить, что в настоящее время решение вышеуказанной проблемы является приоритетной задачей при усовершенствовании работы и конструкции систем и механизмов двигателя и элементов выхлопной системы современных автомобилей в плане экономии топлива и минимизации ($\text{min} \rightarrow 0$) выбросов вредных веществ отработавших газов на окружающую среду.



Вклад авторов. Акунов Б. У. – планирование, организация и проведение экспериментальных исследований. Имаров К. А. – проведение экспериментальных исследований совместно с научным руководителем Акуновым Б. У.

Author contributions. Bakytbek U. Akunov, planning, organisation and carrying out of experimental research; Kubatbek A. Imarov, carrying out experimental research together with the scientific supervisor Bakytbek U. Akunov

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no relevant conflict of interest.

Список литературы

1. Рокош У. *Бортовая диагностика*. Москва: За рулем; 2013. 224 с.
2. Kuranc A. Exhaust emission test performance with the use of the signal from air flow meter. *Eksploatacja i Niezawodnosc – Maintenance and Reliability*. 2015;17(1):129–134. <https://doi.org/10.17531/ein.2015.1.17>
3. Глазунов Д. В., Глазунов В. И. Анализ необходимости улучшения эксплуатационных показателей автомобиля в условиях Кыргызской Республики. *Вестник КРСУ*. 2014; 14(12):149–152. Режим доступа: <http://vestnik.krsu.edu.kg/archive/78/3323>.
4. Салова Т. Ю., Турсунов А. А., Мажитов Б. Ж. Оценка экологических показателей дизелей при горных условиях эксплуатации. *Вестник Таджикского технического университета*. 2011;1:91–98. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=16546182>.
5. Глазунов Д. В. Расчет рабочего процесса автомобильного двигателя, работающего в условиях Кыргызской Республики. *Наука и новые технологии*. 2011;9:29–32. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?edn=vjwjnr>.
6. Глазунов Д. В., Глазунов В. И. Влияние высокогорных и высокотемпературных условий на процесс образования горючей смеси автомобильного бензинового двигателя и особенности ее горения. *Вестник КРСУ*. 2017;17(12):55–58. Режим доступа: <http://vestnik.krsu.edu.kg/archive/34?heading=4181>.
7. Глазунов Д. В. Влияние высокотемпературных условий Кыргызской Республики на работу автомобильного карбюраторного двигателя. *Вестник КРСУ*. 2013;13(7):136–138. Режим доступа: <http://vestnik.krsu.edu.kg/archive/86/3704>.
8. Глазунов Д. В. Влияние высокогорных условий Кыргызской Республики на рабочий цикл автомобильного карбюраторного двигателя. *Вестник КРСУ*. 2014;14(2):114–118. Режим доступа: <http://vestnik.krsu.edu.kg/archive/66/2701>.
9. Ashok B., Ashok D., Ramesh Kumar C. A review on control system architecture of a SI engine management System. *Annual Reviews in Control*. 2016;(41):94–118. Режим доступа: https://www.academia.edu/31325688/A_review_on_control_system_architecture_of_a_SI_engine_management_system.
10. Акунов Б. У. Коррекция топливно-воздушной смеси при эксплуатации автомобиля в различных условиях. *Транспорт: наука, техника, управление*. 2019;(4):21–24. Режим доступа: <http://lamb.viniti.ru/sid2/sid2free?sid2=J1763779920>.
11. Акунов Б. У. Анализ концентрации остаточного кислорода в отработавших газах автомобиля в зависимости от рельефа местности. *Автомобильная промышленность*. 2016;(5):28–30. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=tvjuhu>.

References

1. Rokosch, U. *Onboard Diagnostics = On-Board-Diagnose*. Würzburg: Vogel Industrie Medien GmbH & Co. KG; 297. (In Germ.)
2. Kuranc A. Exhaust emission test performance with the use of the signal from air flow meter. *Eksploatacja i Niezawodnosc – Maintenance and Reliability*. 2015;17(1):129–134. <https://doi.org/10.17531/ein.2015.1.17>
3. Glazunov D. V., Glazunov V. I. Analysis for necessary improvement of car operating characteristics in the Kyrgyz Republic. *Vestnik KRSU*, 2014;14(12):149–152. (In Russ). Available at: <http://vestnik.krsu.edu.kg/archive/78/3323>.
4. Salova T. Yu., Tursunov A. A., Mazhitov B. Zh. Assessment of environmental performance of diesel engines under mountain operating conditions. *Vestnik Tadzhikskogo tekhnicheskogo universiteta*. 2011;1:91–98. (In Russ.) Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=16546182>

5. Glazunov D. V. Calculation of a car engine, working in the Kyrgyz Republic. *Nauka i novye tekhnologii*. 2011;9:29–32. (In Russ.) Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?edn=vjwjnp>.
6. Glazunov D. V., Glazunov V. I. Influence of high-heavy and high-temperature conditions for the process of mixture formation automobile petrol engine and the peculiarities of its combustion. *Vestnik KRSU*. 2017;17(12):55–58. (In Russ.) Available at: <http://vestnik.krsu.edu.kg/archive/34?heading=4181>.
7. Glazunov D. V. Influence of high-temperature conditions of the Kyrgyz Republic on the performance of a car carburettor engine. *Vestnik KRSU*. 2013;13(7):136–138. (In Russ.) Available at: <http://vestnik.krsu.edu.kg/archive/86/3704>.
8. Glazunov D. V. The influence of high-mountainous conditions of the Kyrgyz Republic on running cycle of a car carburetted engine. *Vestnik KRSU*. 2014;14(2):114–118. (In Russ.) Available at: <http://vestnik.krsu.edu.kg/archive/66/2701>.
9. Ashok B., Ashok D., Ramesh Kumar C. A review on control system architecture of a SI engine management System. *Annual Reviews in Control*. 2016;(41):94–118. Available at: https://www.academia.edu/31325688/A_review_on_control_system_architecture_of_a_SI_engine_management_system.
10. Akunov B. U. Correction of the air-fuel mixture during vehicle operation under various conditions. *Transport: science, equipment, management*. 2019;(4):21–24. (In Russ.) Available at: <http://lamb.viniti.ru/sid2/sid2free?sid2=J1763779920>.
11. Akunov B. U. Analysis of the concentration of residual oxygen in the exhaust gases of the vehicle depending on the terrain. *Avtomobil'naya promyshlennost'*. 2016;(5):28–30. (In Russ.) Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=tvjuhu>.



Информация об авторах

Акунов Бакытбек Убайдиллаевич, канд. техн. наук, доцент кафедры автомобильного транспорта, Кыргызский государственный технический университет им. И. Раззакова, Бишкек, Кыргызская Республика, akunov1@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6439-9223>

Имаров Кубатбек Абдыкаарович, магистрант кафедры автомобильного транспорта, Кыргызский государственный технический университет им. И. Раззакова, Бишкек, Кыргызская Республика, <https://orcid.org/0009-0008-3929-5623>

Information about the authors

Bakytbek U. Akunov, Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor in the Automobile Transport Department, Kyrgyz State Technical University named after I. Razzakov, Bishkek, Kyrgyz Republic, akunov1@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6439-9223>

Kubatbek A. Imarov, Graduate Student in the Automobile Transport Department, Kyrgyz State Technical University named after I. Razzakov, Bishkek, Kyrgyz Republic, akunov1@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0008-3929-5623>

*Получена 06 апреля 2024 г., одобрена 25 апреля 2024 г., принята к публикации 20 августа 2024 г.
Received 06 April 2024, Approved 25 April 2024, Accepted for publication 20 August 2024*