

Научная статья
УДК 621.432

Оценка точности измерения расхода топлива по информации из бортовой CAN-шины автомобиля

Данил Андреевич Ломов¹, Дмитрий Николаевич Илюшин²,
Евгений Александрович Салыкин³

^{1,2,3}Волгоградский государственный технический университет (ВолГТУ),
Волгоград, Россия

^{1,2,3}tig@vstu.ru

Аннотация. Определение фактического потребления двигателями автомобилей топлива является необходимым условием эффективной эксплуатации автомобильного транспорта. Одним из способов определения расхода топлива, не требующего существенных затрат, связанных с интеграцией в топливную систему автомобилей дополнительных устройств контроля, является использование информации о мгновенном расходе топлива имеющейся в бортовой CAN-шине автомобиля. Вследствие этого становится актуальным вопрос оценки точности данного метода. В работе выполнено сравнение интегральных величин расхода топлива полученных двумя способами: по информации из бортовой CAN-шины автомобиля и массовым методом. В качестве объекта исследования использован автомобиль Лада Калина 2 с двигателем ВАЗ-21126. Исследования выполнялись на динамометрическом ступичном стенде Dynapack DAQ+V43, что позволило задавать различные стационарные нагрузочные режимы двигателя. В процессе исследования решены следующие задачи: идентификация пакета бортовой CAN-шины автомобиля содержащего информацию о мгновенном объемном расходе топлива, создание программно-аппаратного комплекса на базе логического программируемого контроллера CANNY 7 и персонального компьютера, позволяющего вести мониторинг и запись величины расхода топлива, полученной из CAN-шины, создание массового расходомера топлива. В результате исследований установлено, что интегральные величины расхода топлива, полученные из бортовой CAN-шины и массовым методом, различаются. Расхождение составляет от 18,6 % до 23,6 % для разных нагрузочных режимов. Таким образом, метод определения фактического расхода топлива по информации из бортовой CAN-шины автомобиля может обладать относительно невысокой точностью, что необходимо учитывать при его практическом использовании.

Ключевые слова: расход топлива, CAN-шина, стендовые испытания, автомобильный двигатель.

Для цитирования: Ломов Д.А., Илюшин Д.Н., Салыкин Е.А. Оценка точности измерения расхода топлива по информации из бортовой CAN-шины автомобиля // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. 2024. № 2 (40).

Original article

Evaluation of the accuracy of measuring fuel consumption based on information from the on-board CAN bus of the car

Danil A. Lomov¹, Dmitry N. Ilyushin², Evgeny A. Salykin³

^{1,2,3}Volgograd State Technical University (VSTU), Volgograd, Russia

^{1,2,3}tig@vstu.ru

Abstract. Determining the actual fuel consumption of car engines is a prerequisite for the efficient operation of road transport. One of the methods for determining fuel consumption that does not require significant costs associated with integrating additional control devices into the fuel system of cars is to use information about the instantaneous fuel consumption available in the on-board CAN bus of the car. As a result, the issue of assessing the accuracy of this method becomes relevant. The paper compares the integral values of fuel consumption obtained in two ways: according to information from the on-board CAN bus of the car and by the mass method. The Lada Kalina 2 car with the VAZ-21126 engine was used as the object of study. The research was carried out on a dynamometric hub test bench Dynapack DAQ+ V43, which made it possible to set various stationary load modes of the engine. In the course of the study, the following tasks were accomplished: identification of the on-board CAN bus package of the car containing information about the instantaneous volumetric fuel consumption, creation of a software and hardware complex based on the CANNY 7 logical programmable controller and a personal computer, which allows monitoring and recording the fuel consumption value obtained from the CAN bus, creation of a mass fuel flowmeter. As a result of the research, it was found that the integral values of fuel consumption obtained from the on-board CAN bus and by the mass method differ. The discrepancy ranges from 18,6% to 23,6% for different load modes. Thus, the method of determining the actual fuel consumption based on information from the on-board CAN bus of the car may have relatively low accuracy, which must be taken into account when using it in practice.

Keywords: fuel consumption, CAN-bus, bench tests, car engine.

For citation: Lomov D.A., Ilyushin D.N., Salykin E.A. Evaluation of the accuracy of measuring fuel consumption based on information from the on-board CAN bus of the car. Avtomobil'. Doroga. Infrastruktura. 2024. No. 2 (40).

Введение

Определение фактического расхода топлива двигателем автомобиля является необходимым критерием эффективности эксплуатации автомобильного транспорта. В связи с этим в настоящее время для широкого круга поставщиков транспортных услуг имеется необходимость мониторинга расхода топлива. Большинство известных способов получения информации об эксплуатационном расходе топлива предполагает интеграцию в топливную систему автомобилей специальных устройств контроля - датчиков расхода или уровня топлива в баке. При этом повышается стоимость топливной системы, снижается ее надежность, нарушается выполнение условий гарантии на автомобиль. Также существует метод, не требующий интеграции дополнительных устройств. Большинство современных автомобилей оснащены бортовой CAN-шиной, в которой имеется информация о мгновенном расходе топлива, поступающая от контроллера электронной системой управления двигателем. Считывание из бортовой CAN-шины информации о мгновенном расходе и ее обработка позволяет контролировать эксплуатационный расход топлива. Однако на практике использование этого метода часто предполагает установку дополнительных датчиков, что в основном вызвано стремлением повысить точность измерений [1].

Известны работы, посвященные оценке точности метода определения расхода топлива по данным из бортовой CAN-шины автомобиля [2, 3]. Однако во всех случаях определение расхода выполнялось по результатам дорожных испытаний автомобиля. В данной работе использовалась информация о расходе топлива автомобилем, двигатель которого работал на нескольких стационарных режимах задаваемых с помощью динамометрического стенда, что позволило исключить возможное воздействие множества случайных факторов характерных для дорожных испытаний и оказывающих отрицательное влияние на результаты измерений.

Цель данного исследования заключается в сравнении двух интегральных величин расхода топлива: полученной на основе информации из бортовой CAN-шины автомобиля и непосредственно измеренной с помощью массового расходомера.

Основная часть

В качестве объекта исследования использован автомобиль Лада Калина 2 с двигателем ВАЗ-21126 и автоматической коробкой передач. Двигатель оснащен электронной системой управления на базе контроллера М 74. Этот контроллер связан с блоками управления других электронных систем автомобиля посредством бортовой CAN-шины со скоростью передачи данных 500 кбит/с.

В общедоступной технической документации на исследуемый автомобиль отсутствуют надежные сведения о пакетах данных CAN-шины содержащих информацию о мгновенном расходе топлива. Для идентификации таких пакетов использовался программируемый логический контроллер CANNY 7 [4]. Работа CANNY 7 в режиме анализатора позволяет отслеживать побитовое изменение параметров в пакетах CAN-шины. Функционирование двигателя на режиме холостого хода с различной частотой вращения коленчатого вала, в том числе и на режиме принудительного холостого хода, обеспечило многократно повторяемое изменение величины мгновенного расхода топлива в довольно широком диапазоне: от 0 до 20 л/ч. В исследуемом автомобиле в неподвижном его состоянии на панели приборов не предусмотрено отображение мгновенного расхода топлива. Контроль величины расхода производился с помощью дополнительно подключенного к CAN-шине автомобиля диагностического прибора Сканматик 2 [5]. В результате побитового анализа изменения значений в пакетах данных полученных с помощью CANNY 7 и с учетом информации отображаемой Сканматик 2 установлено, что значение

величины расхода топлива содержится в пакете с идентификатором ID 551, а именно в его поле данных в байтах D7:D6.

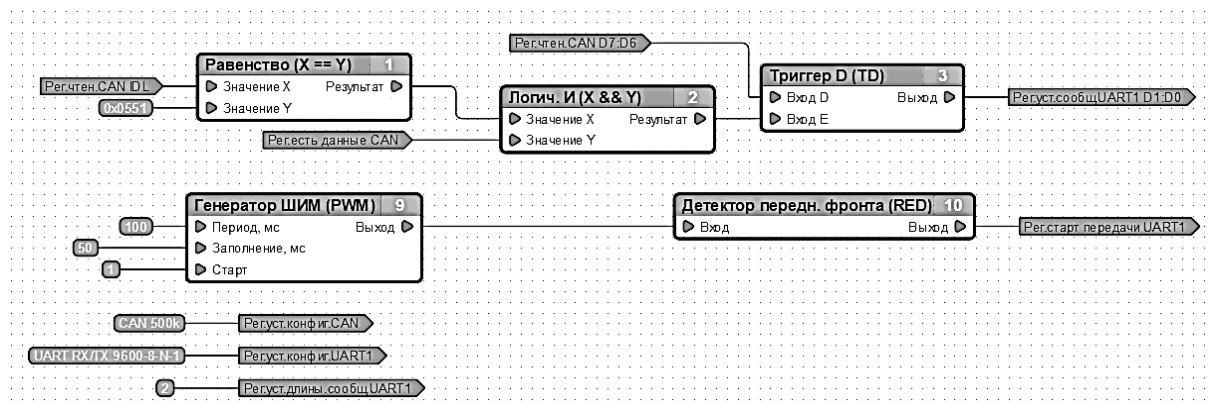


Рис. 1. Программное обеспечение для CANNY 7, созданное в графической среде CannyLab

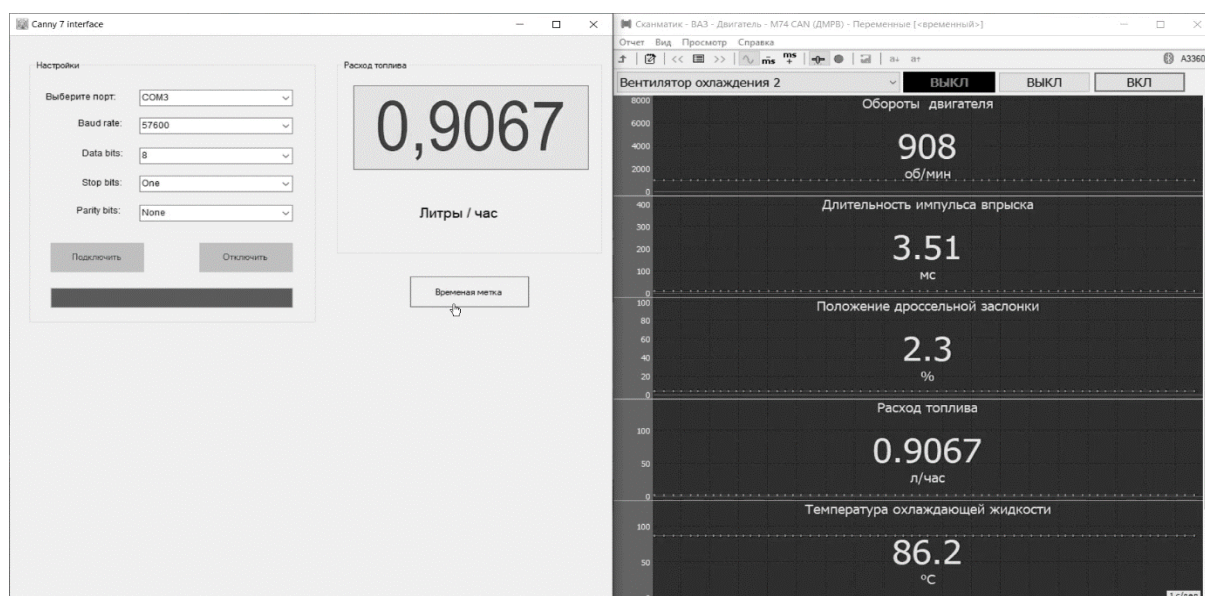


Рис. 2. Окна программ запущенных одновременно на персональном компьютере: специализированной разработанной для определения расхода топлива (слева) и Сканматик 2 (справа)

С использованием графической среды CannyLab для CANNY 7 создано программное обеспечение (рис. 1) выполняющие извлечение из потока данных CAN-шины и передачи через преобразователь USB-UART CP2102 [6] на персональный компьютер информации о мгновенном расходе топлива. Для отображения и сохранения на компьютере величины расхода топлива на языке C# разработана специализированная программа (рис. 2).

Сравнение отображаемых на персональном компьютере данных о расходе топлива полученных с помощью разработанной программы и Сканматик 2 показывает их полное совпадение (см. рис. 2). Наблюдается запаздывание (до 0,2 с) потока данных от Сканматик 2, очевидно связанное с его функционированием по диагностическому протоколу.

В дальнейших исследованиях при измерениях расхода топлива также использовалось параллельное подключение к CAN-шине автомобиля логического контроллера CANNY 7 и Сканматик 2, что позволило контролировать кроме расхода топлива и другие необходимые параметры.

Непосредственное измерение расхода топлива двигателем автомобиля выполнялось с помощью специально изготовленного расходомера. Конструкция массового расходомера, подобна ранее известным [7] и учитывает особенность топливной системы двигателя исследуемого автомобиля, где рабочее давление топлива составляет 380 кПа. Основу конструкции составляет штатный модуль электробензонасоса автомобиля включающий электробензонасос и регулятор давления. Забор топлива для питания двигателя осуществляется из емкости, размещенной на весах Mettler PE 4000 [8]. Расход топлива за контролируемый интервал времени определяется по разнице массы топлива в емкости в моменты начала и окончания измерения.

Топливо из емкости расходомера подавалось непосредственно в топливную рампу двигателя автомобиля. Электробензонасос штатной топливной системы автомобиля был отключен.

Во время первых тестовых экспериментов было установлено, что на результат измерения расхода топлива оказывает влияние работа клапана продувки адсорбера автомобиля, что связано с неконтролируемым попаданием во впускной коллектор двигателя паров топлива из штатного топливного бака автомобиля. Для повышения точности и повторяемости

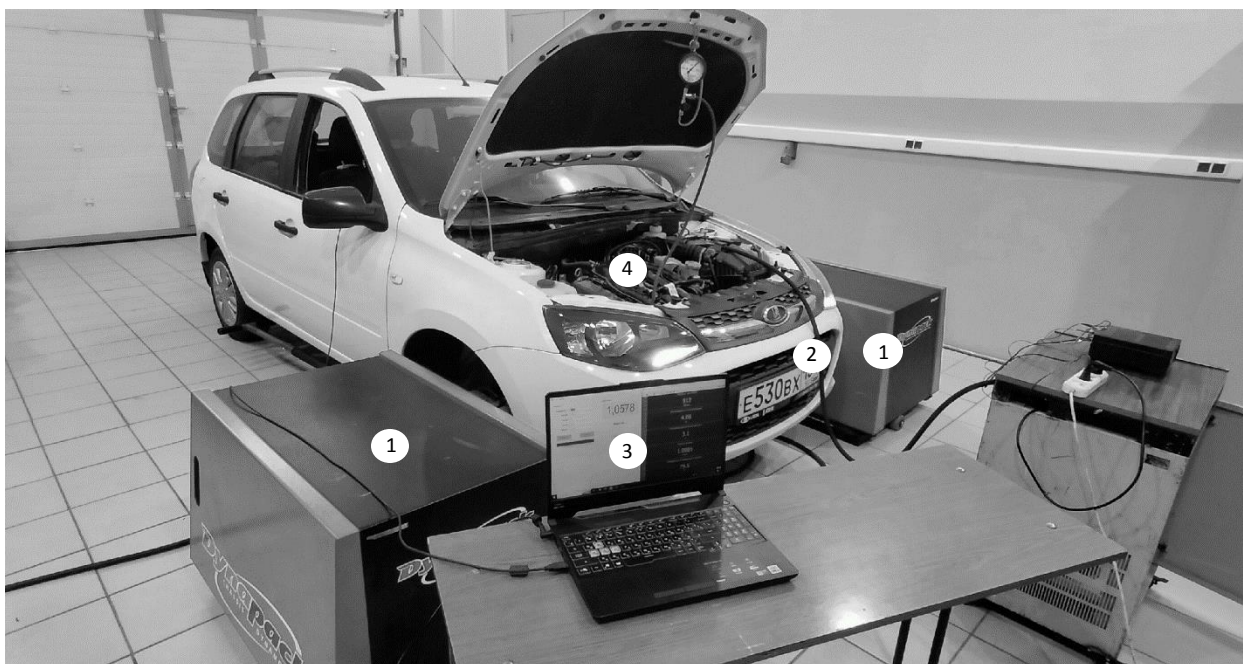
результатов экспериментов работа клапана продувки адсорбера была остановлена посредством отключения его электрического разъема.

Поддержание температурного режима двигателя автомобиля осуществлялось с помощью потока воздуха вентилятора стенда.

Методика проведения исследования (рис. 3) расхода топлива автомобилем Лада Калина 2 предполагала стационарные режимы работы его двигателя. Режимы работы двигателя под нагрузкой задавались с помощью динамометрического ступичного стенда Dynapack DAQ + V43 [9], гидронагружатели которого подключались к ступицам ведущих колес автомобиля. Частота вращения коленчатого вала двигателя была ограничена управляющей программой стенда величиной 3000 об/мин. Вывод двигателя на заданный режим выполнялся при положении селектора автоматической коробки передач, соответствующем второму диапазону ее работы, посредством изменения положения педали акселератора автомобиля.

Во время любого из измерений обеспечивалось постоянство следующих параметров: температура двигателя (в диапазоне 85 – 95°C); частота вращения коленчатого вала двигателя; эквивалентный крутящий момент двигателя M_k , вычисленный для нагрузочных режимов управляющей программой динамометрического стенда с учетом передаточных отношений, но без учета потерь в трансмиссии.

Продолжительность каждого измерения расхода топлива составляла 60 с. В течение этого времени удавалось обеспечивать постоянство всех контролируемых параметров. Несколько измерений выполнялись в два этапа: последовательно выбирались два интервала измерений в 30 с. Результаты измерений выполненные за 30 и 60 с, а также двух последовательных измерениях за 30 с хорошо согласуются.



а)



б)

Рис. 3. Экспериментальная установка: а) установка автомобиля на стенд; б) измерительное оборудование; 1 – динамометрический ступичный стенд Dynapack, 2 – топливопровод, подключенный к топливной рампе автомобиля, 3 – персональный компьютер, 4 – автомобиль; 5 – модуль электробензонасоса, погруженный в емкость с топливом; 6 – весы Mettler PE 4000

Единовременное измерение расхода топлива предполагало выполнение следующей процедуры: вывод двигателя на необходимый режим работы;

стабилизация контролируемых параметров; установка отметки времени в специализированной программе запущенной на персональном компьютере и осуществляющей запись величины мгновенного расхода топлива полученной из бортовой CAN-шины; синхронная с установкой временной отметки видеофиксация массы топлива в емкости, расположенной на весах; повторная установка временной отметки в специализированной программе по истечении контролируемого интервала времени с синхронной видеофиксацией массы топлива в емкости, расположенной на весах; запись результатов измерения массы топлива.

В процессе измерений периодически контролировалась плотность топлива, находившегося во взвешиваемой емкости, которое при работе электробензонасоса нагревалось. Плотность определялась прямым взвешиванием отмеренного с помощью мерного цилиндра объема топлива. Полученная величина плотности использовалась при пересчете объемного расхода топлива в массовый.

Результаты измерений расхода топлива на различных стационарных режимах работы двигателя автомобиля, определяемые величиной крутящего момента M_k , представлены в таблице. Относительная погрешность Δ вычислена по формуле:

$$\Delta = \frac{Q_M - Q_{CAN}}{Q_M} \cdot 100\%,$$

где Q_M – массовый расход топлива, полученный прямым измерением с помощью массового расходомера;

Q_{CAN} – массовый расход топлива полученный по информации из бортовой CAN-шины автомобиля.

Анализируя приведенные в таблице данные можно отметить хорошую повторяемость измерений при большой относительной погрешности метода измерения расхода топлива по информации из CAN-шины. Максимальная относительная погрешность достигает 23,6 %. Величина погрешности для

каждого из режимов имеет положительное значение, то есть расход топлива, полученный по информации из бортовой CAN-шины, будет занижен.

Снижение относительной погрешности возможно коррекцией направленной на минимизацию средней величины относительной погрешности для всех измерений расхода. Значение величины расхода топлива, полученной по информации из CAN-шины, необходимо умножить на коэффициент $K = 1,259$, при этом максимальная относительная погрешность составит 3,89 %.

Таблица

Результаты измерений расхода топлива

№ измерения	Крутящий момент М _к , Н·м	Расход топлива			Относительная погрешность, %
		по информации из CAN-шины		по массовому расходомеру, г	
		объемный, л	массовый, г		
1	0	0,015	11,45	15	23,6
2	0	0,016	11,98	15	20,13
3	0	0,016	11,73	15	21,8
4	75	0,136	98,28	124	20,74
5	75	0,136	98,28	123	20,09
6	78	0,139	100,52	126	20,22
7	104	0,171	123,72	152	18,6
8	103	0,17	123,29	155	20,45
9	103	0,17	123,28	154	19,94
10	148	0,245	177,19	218	18,72
11	148	0,252	182,67	236	22,59
12	147	0,237	171,67	214	19,78

Выводы

Установлено, что для исследуемого автомобиля Лада Калина 2 точность измерения расхода топлива по информации из бортовой CAN-шины при стационарных режимах работы двигателя недопустимо низкая для практического использования. Максимальная относительная погрешность достигает 23,6 %. Использование поправочного коэффициента $K = 1,259$ позволяет ее снизить до 3,89 %.

Таким образом, определение расхода топлива только по информации из бортовой CAN-шины автомобиля возможно с достаточной для практического использования точностью при соответствующей коррекции.

Список источников

1. Способы контроля расхода топлива [Электронный ресурс]. – URL: <https://avtonavix.ru/news/sposoby-kontrolya-raskhoda-topliva/?ysclid=lvgpsb7fgn505864419> (дата обращения: 30.04.2024).
2. Оценка точности измерения расхода топлива на основе данных из бортовой CAN-шины / Е. И. Торопов, Ю. П. Трусов, А. С. Вашурин, П. С. Мошков // Справочник. Инженерный журнал. – 2021. – № 12(297). – С. 32-38. – DOI 10.14489/hb.2021.12.pp.032-038. – EDN ZNGHGX.
3. Сравнительный анализ определения расхода топлива автомобиля с использованием расходомера DFL3X-5BAR и расчётным методом с помощью данных диагностического протокола OBD II / А. Н. Блохин, Ю. И. Молев, П. С. Мошков, А. Н. Тихомиров // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 1-1. – С. 21. – EDN VIDTFD.
4. CANny [Электронный ресурс]. – URL: <https://canny.ru/c7/> (дата обращения: 30.04.2024).
5. Scanmatik [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.scanmatik.ru/> (дата обращения: 30.04.2024).
6. Silicon Laboratories. CP2102-9. 2-Port USB 2.0 to UART Bridge Controller. Datasheet. – 2023. – URL: <https://www.silabs.com/documents/public/data-sheets/CP2102-9.pdf> (дата обращения: 30.04.2024).
7. Martyr, A. J. Engine Testing: The Design, Building, Modification and Use of Powertrain Test Facilities / A. J. Martyr, M. A. Plint. – 2007.
8. SITRANS P200/P400. Operating Instructions. – URL: https://www.mt.com/ru/ru/home/library/operating-instructions/other/PE200_400_BA.html (дата обращения: 30.04.2024).
9. Dynapack. – URL: <https://dynapack.com/> (дата обращения: 30.04.2024).

References

1. URL: <https://avtonavix.ru/news/sposoby-kontrolya-raskhoda-topliva/?ysclid=lvgpsb7fgn505864419> 30.04.2024).
2. Toropov E.I., Trusov Yu.P., Vashurin A.S., Moshkov P.S. *Spravochnik. Inzhenernyy zhurnal*, 2021, no.12(297), pp. 32-38. DOI 10.14489/hb.2021.12.pp.032-038.

3. Blokhin A.N., Molev Yu.I., Moshkov P.S., Tikhomirova A.N. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya*, 2015, no. 1-1, pp. 21.
4. URL: <https://canny.ru/c7/> (30.04.2024).
5. URL: <https://www.scanmatik.ru/> 30.04.2024).
6. URL: <https://www.silabs.com/documents/public/data-sheets/CP2102-9.pdf> (30.04.2024).
7. Martyr A.J., Plint M.A. *Engine Testing: The Design, Building, Modification and Use of Powertrain Test Facilities*, 2007.
8. URL: https://www.mt.com/ru/ru/home/library/operating-instructions/other/PE200_400_BA.html (30.04.2024).
9. URL: <https://dynapack.com/> (30.04.2024).

Рецензент: Савастенко Э.А., канд. техн. наук, доц., МАДИ

Информация об авторах

Ломов Данил Андреевич, студент, ВолгГТУ.

Илюшин Дмитрий Николаевич, ст. преподаватель, ВолгГТУ

Салыкин Евгений Александрович, канд. техн. наук, доц., ВолгГТУ.

Information about the authors

Lomov Danil A., student, VSTU.

Ilyushin Dmitry N., senior lecturer, VSTU.

Salykin Evgeny A., Candidate of Sciences (Technical), associate professor, VSTU

Статья поступила в редакцию 15.05.2024; одобрена после рецензирования 20.05.2024; принята к публикации 04.06.2024.

The article was submitted 15.05.2024; approved after reviewing 20.05.2024; accepted for publication 04.06.2024.