

DOI: <https://doi.org/10.17816/2074-0530-625971>

Оригинальное исследование



# Исследование работоспособности и эффективности алгоритма управления ускорением и замедлением транспортного колёсного средства посредством педали хода в условиях магистрального движения

А.В. Климов<sup>1, 2</sup>, Б.К. Оспанбеков<sup>1, 2</sup>, А.В. Антонян<sup>1, 2</sup><sup>1</sup> Инновационный центр «КАМАЗ», Москва, Российская Федерация;<sup>2</sup> Московский политехнический университет, Москва, Российская Федерация

## АННОТАЦИЯ

**Обоснование.** Современные аккумуляторные транспортные средства всё ещё не отвечают потребностям потребителей по величине автономного пробега. Поэтому остро актуальна задача повышения энергоэффективности с целью снижения расхода энергии на движение. Одним из направлений наряду с применением более эффективных агрегатов и систем может служить создание алгоритмов управления, минимизирующих данные затраты, которые позволяют управлять движением с помощью только педали хода.

**Цель работы** — исследование работоспособности и эффективности алгоритма управления транспортным средством только с помощью педали хода с применением имитационного виртуального моделирования движения и дальнейшей практической реализации алгоритма в системе управления.

**Материалы и методы.** Исследование выполнено с применением программного комплекса Matlab Simulink.

**Результаты.** В статье приводятся описание функционирования алгоритма однопедального управления на примере пассажирского транспортного средства с индивидуальным тяговым электроприводом, результаты виртуального имитационного моделирования, доказывающие его работоспособность и энергоэффективности для случая движения в магистральном цикле.

**Заключение.** Практическая ценность исследования заключается в подтверждённой работоспособности и энергоэффективности и возможности применения алгоритма для разработки программного обеспечения систем управления движением транспортных средств.

**Ключевые слова:** энергоэффективность; однопедальное управление; тяговый режим; режим рекуперации; движение накатом; математическое моделирование; педаль хода; удельный расход энергии; магистральный цикл.

## Как цитировать:

Климов А.В., Оспанбеков Б.К., Антонян А.В. Исследование работоспособности и эффективности алгоритма управления ускорением и замедлением транспортного колёсного средства посредством педали хода в условиях магистрального движения // Известия МГТУ «МАМИ». 2024. Т. 18, № 2. С. 129–138. DOI: <https://doi.org/10.17816/2074-0530-625971>

DOI: <https://doi.org/10.17816/2074-0530-625971>

Original Study Article

# Study of the operability and effectiveness of the algorithm for controlling the acceleration and deceleration of a wheeled vehicle by means of an accelerator pedal in conditions of highway traffic

Alexander V. Klimov<sup>1, 2</sup>, Baurzhan K. Ospanbekov<sup>1, 2</sup>, Akop V. Antonyan<sup>1, 2</sup><sup>1</sup> KAMAZ Innovation Center, Moscow, Russian Federation;<sup>2</sup> Moscow Polytechnic University, Moscow, Russian Federation

## ABSTRACT

**BACKGROUND:** Modern battery-powered vehicles still do not meet the needs of consumers in terms of autonomous mileage. Therefore, the problem of increasing the energy efficiency in order to reduce energy consumption for motion is highly relevant. One of the directions, along with the use of more efficient units and systems, is the development of control algorithms that minimize these costs and make it possible to control the motion using only the accelerator pedal.

**AIM:** The study of the operability and effectiveness of the algorithm for controlling a vehicle only with an accelerator pedal using virtual simulation of motion, further practical implementation of the algorithm in the control system.

**METHODS:** The study was carried out using the MATLAB/Simulink software package.

**RESULTS:** The paper describes the functioning of the single-pedal control algorithm using the example of a passenger vehicle with an individual traction electric drive, the results of virtual simulation proving its operability and energy efficiency for the case of highway traffic.

**CONCLUSION:** The practical value of the study lies in the proven operability, energy efficiency, and the possibility of using the algorithm for development of the software for vehicle motion control systems.

**Keywords:** energy efficiency; single-pedal control; traction mode; regeneration mode; coasting; mathematical modeling; accelerator pedal; specific energy consumption; highway cycle.

## To cite this article:

Klimov AV, Ospanbekov BK, Antonyan AV. Study of the operability and effectiveness of the algorithm for controlling the acceleration and deceleration of a wheeled vehicle by means of an accelerator pedal in conditions of highway traffic. *Izvestiya MGTU «MAMI»*. 2024;18(2):129–138.

DOI: <https://doi.org/10.17816/2074-0530-625971>

Received: 24.01.2024

Accepted: 28.08.2024

Published online: 16.09.2024

## ВВЕДЕНИЕ

Сегодня на дорогах мы всё чаще встречаем транспортные средства на электрической тяге. Этому способствует неуклонное совершенствование характеристик перезаряжаемых систем хранения электрической энергии. Но стоит отметить, что всё ещё данные характеристики недостаточны, чтобы в полной мере конкурировать с автомобилями, имеющими двигатели внутреннего сгорания. Поэтому немаловажным является совершенствование агрегатов и методов их управления, позволяющее снизить расход энергии, что приведёт к улучшению ключевого свойства техники с электроприводом — дальность хода на одной подзарядке.

Особое место занимают пассажирские транспортные средства — электробусы, имеющие характеристики, представленные в [1]. Данные транспортные средства оснащены перезаряжаемой системой хранения электрической энергии (тяговой аккумуляторной батареей) и индивидуальным тяговым электрическим приводом ведущих колёс. Тяговые аккумуляторные батареи имеют достаточно высокую стоимость, что влечёт за собой повышение стоимости подвижного состава. Поэтому важно минимизировать рост стоимости при повышении энергоэффективности, снижая удельный расход энергии  $W_{\text{сум}}$ , кВтч/км, увеличивая при этом автономный пробег и снижая потребность в зарядке системы хранения энергии и затраты на осуществление перевозок.

Для этого применяются всё более энергоёмкие тяговые аккумуляторные батареи, в том числе в различных сочетаниях более прогрессивные электроприводы [2, 3]. Вторым способом является применение алгоритмов и методов управления агрегатами, позволяющими минимизировать потери энергии, например, алгоритмы управления тяговым электроприводом, осуществляющие наиболее энергоэффективный переход из одного состояния в другое при движении по соответствующему запросу [4–17]. В том числе реализуются способы управления с помощью применения ресурсоёмких методов на основе нейросетевых

технологий и искусственного интеллекта, которые сложно реализовать с помощью вычислительных мощностей бортового электронного блока управления.

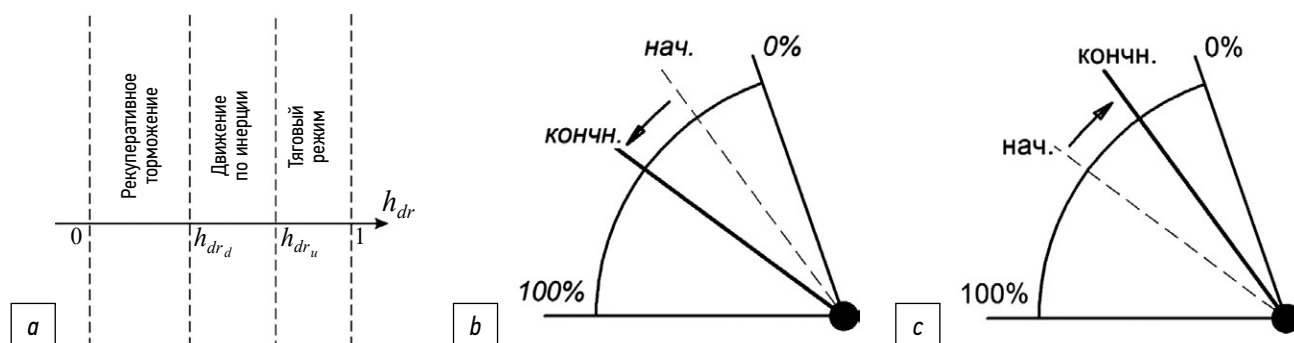
## ЗАВИСИМОСТИ ЗАПРАШИВАЕМОГО КРУТЯЩЕГО МОМЕНТА ОТ ПОЛОЖЕНИЯ ПЕДАЛИ ХОДА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СКОРОСТЯХ ДВИЖЕНИЯ

При эксплуатации колёсной машины в дорожных условиях встречаются тяговый, тормозной режим движения, а также движение по инерции (накатом). В тяговом режиме тяговый электропривод работает в двигательном режиме, а в случае замедления в генераторном режиме. При движении накатом тяговый электропривод должен имитировать сопротивление аналогично транспортным средствам с двигателями внутреннего сгорания. При этом имеется возможность осуществлять рекуперацию энергии в перезаряжаемую систему хранения электрической энергии.

При классическом двухпедальном управлении в тяговом режиме оно осуществляется при нажатии педали хода, а в тормозном режиме — педалью тормоза. В случае движения накатом обе педали должны быть отпущены.

При однопедальном управлении изменение ускорения, замедления, скорости движения транспортного средства осуществляется только одной педалью хода за счёт изменения степени её нажатия. При высокой степени нажатия машина работает в тяговом режиме, разгоняясь, при отпуске и снижении степени нажатия замедляется, работая в тормозном режиме. При промежуточных значениях глубины нажатия реализуется движение по инерции (рис. 1) [18, 19].

Значения степени нажатия на педаль хода, характеризующие положение зон различных режимов работы привода, а также значения уставок крутящего тягового и рекуперативного момента двигателя определяются по зависимостям, приведённым в [18, 19].



**Рис. 1.** Основные принципы управления [18, 19]: а — режимы движения машины в зависимости от степени нажатия на педаль хода; б — при нажатии на педаль; в — при отпуске педали.

**Fig. 1.** Main control principles [18, 19]: а — vehicle motion modes depending on an accelerator pedal position; б — at pushing the pedal; в — at releasing the pedal.

## ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ АЛГОРИТМА УПРАВЛЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ ПЕДАЛИ ХОДА ПРИ ВИРТУАЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ С ПОМОЩЬЮ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ МАГИСТРАЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ

Важно оценить эффективность метода в различных условиях движения. Для этого рационально прибегнуть к методам имитационного математического моделирования. Энергоэффективность предлагаемого метода будем оценивать по значению удельного расхода энергии, затраченной на 1 км пути при имитационном моделировании движения [19, 20] транспортного средства с использованием модели движения, общий вид которой приведён на рис. 2, дополненной имитационными моделями тягового электрического привода, приведёнными в [21],

перезаряжаемой системы хранения электрической энергии, системой управления.

Проведено исследование движения транспортного средства, управляемого с помощью только педали хода в условиях схожих с эксплуатационными, а также управляемого классическим методом с помощью двух педалей управления. Исследовательский цикл движения показан на рис. 2 [21]. Важно оценить эффективность в условиях магистрального движения, когда при классическом управлении педаль тормоза задействуется редко. В городских условиях транспортное средство может также двигаться в эквивалентных условиях, например, при движении по вылетной магистрали, пригородным шоссе, скоростным проспектам.

Виртуальным испытаниям подвергалось транспортное средство [1],двигающееся по опорному основанию «сухой асфальт», оснащённое системой формирования управляющего сигнала со стороны педали хода [18, 19], а также для сравнения машина с классическим способом управления с двухпедальным прямым управлением крутящим моментом от педали хода, а тормозным моментом — от педали тормоза. На рис. 3–7 приведены основные

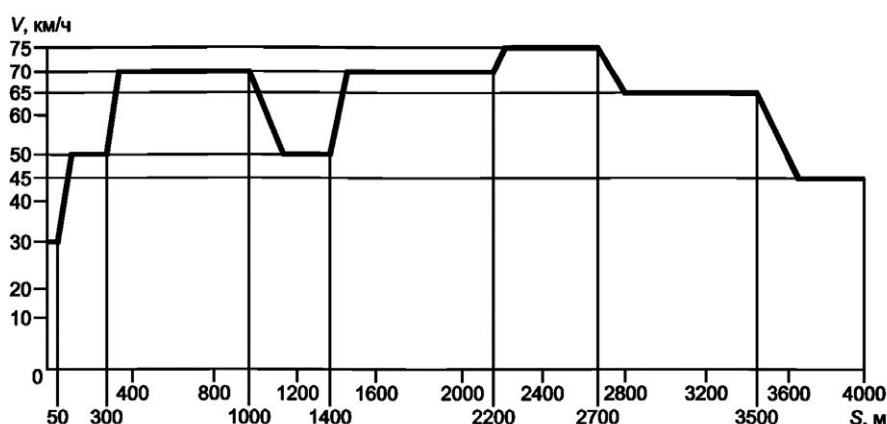


Рис. 2. Схема цикла движения [21].

Fig. 2. The motion cycle diagram [21].

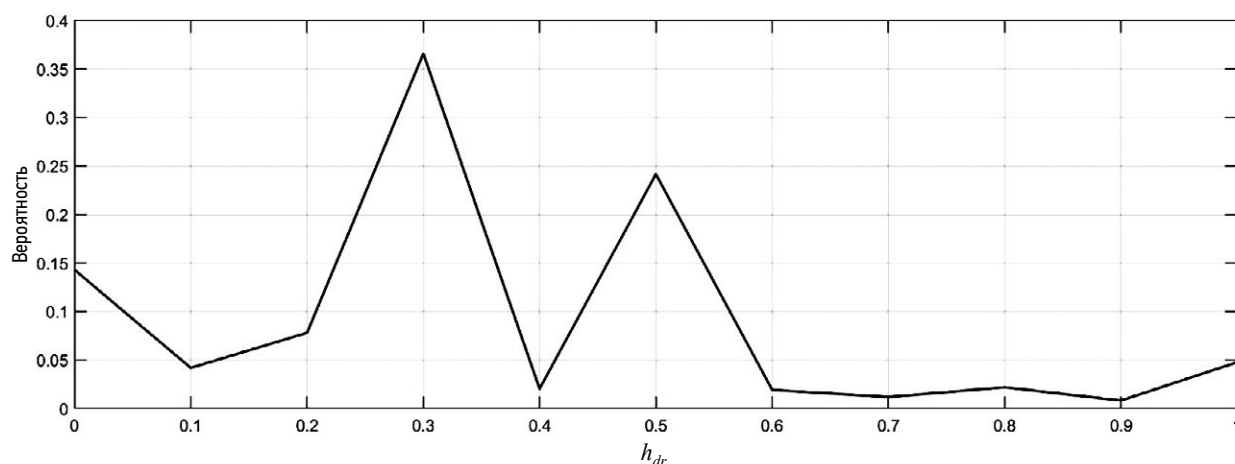
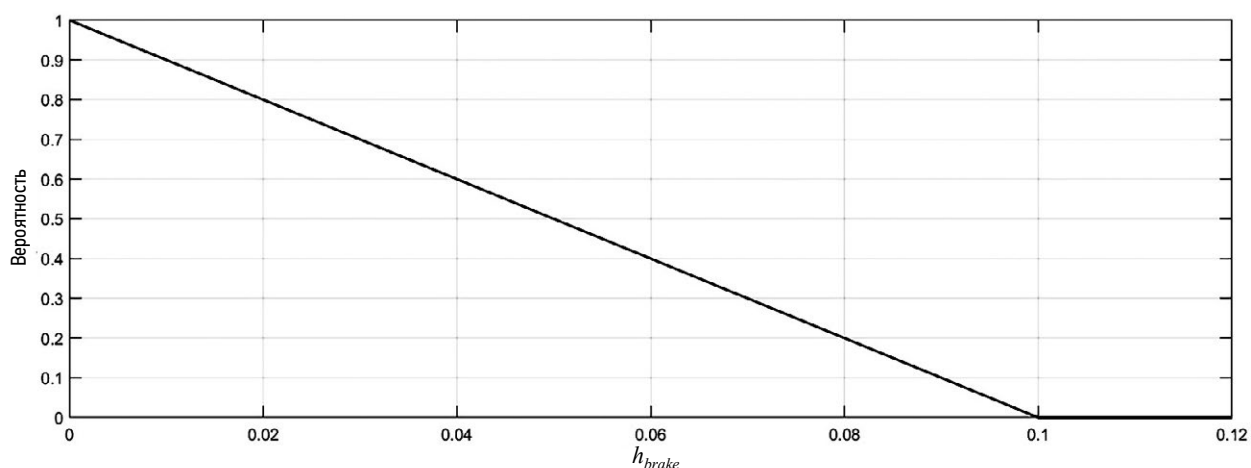


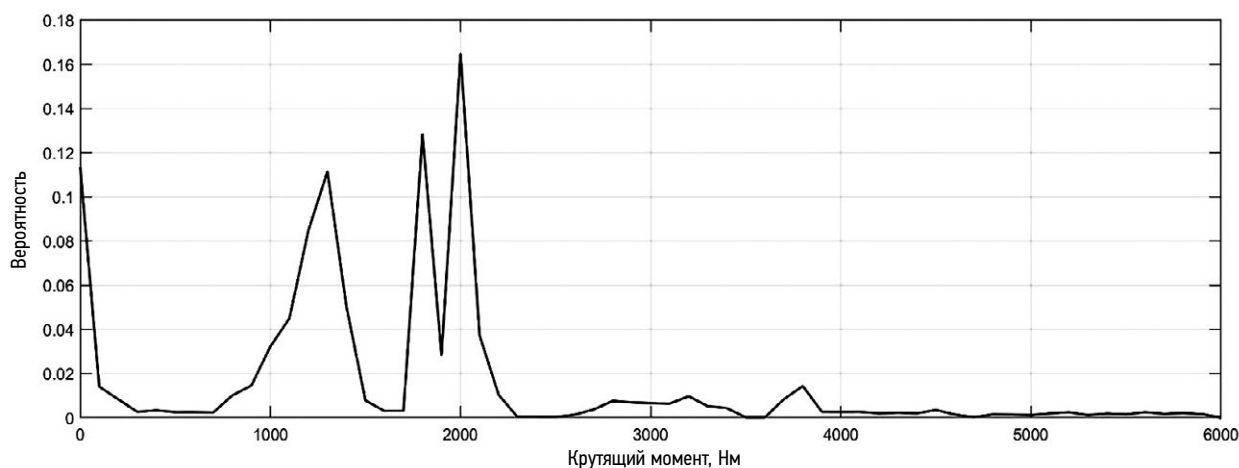
Рис. 3. Плотность вероятности положения педали акселератора для варианта с прямым управлением моментом (двухпедальное управление).

Fig. 3. Probability density of the accelerator pedal position in the direct torque control option (two-pedal control).



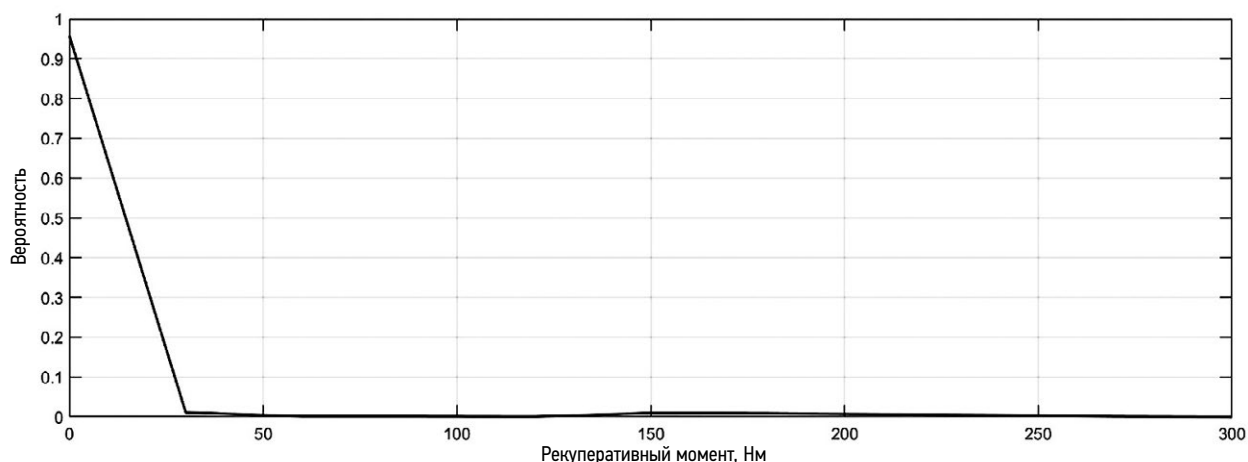
**Рис. 4.** Плотность вероятности положения педали тормоза для варианта с прямым управлением моментом (двухпедальное управление).

**Fig. 4.** Probability density of the brake pedal position in the direct torque control option (two-pedal control).



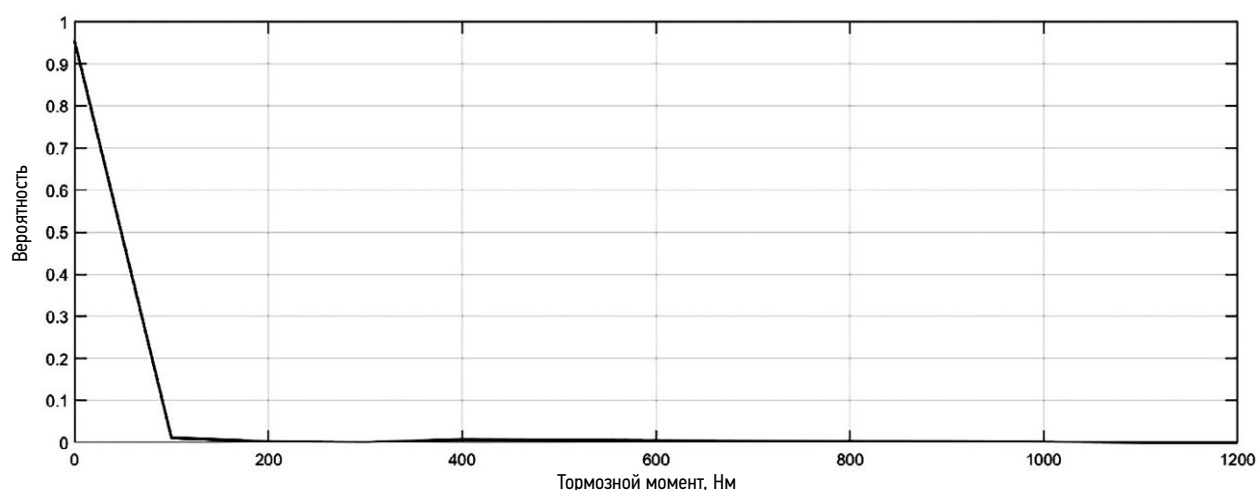
**Рис. 5.** Плотность вероятности крутящего момента на ведущем колесе для варианта с прямым управлением (двухпедальное управление).

**Fig. 5.** Probability density of the traction torque at the driving wheel in the direct torque control option (two-pedal control).



**Рис. 6.** Плотность вероятности рекуперативного момента на ведущем колесе для варианта с прямым управлением моментом (двухпедальное управление).

**Fig. 6.** Probability density of the regenerative torque at the driving wheel in the direct torque control option (two-pedal control).



**Рис. 7.** Плотность вероятности тормозного момента на ведущем колесе для варианта с прямым управлением моментом (двух-педальное управление).

**Fig. 7.** Probability density of the braking torque at the driving wheel in the direct torque control option (two-pedal control).

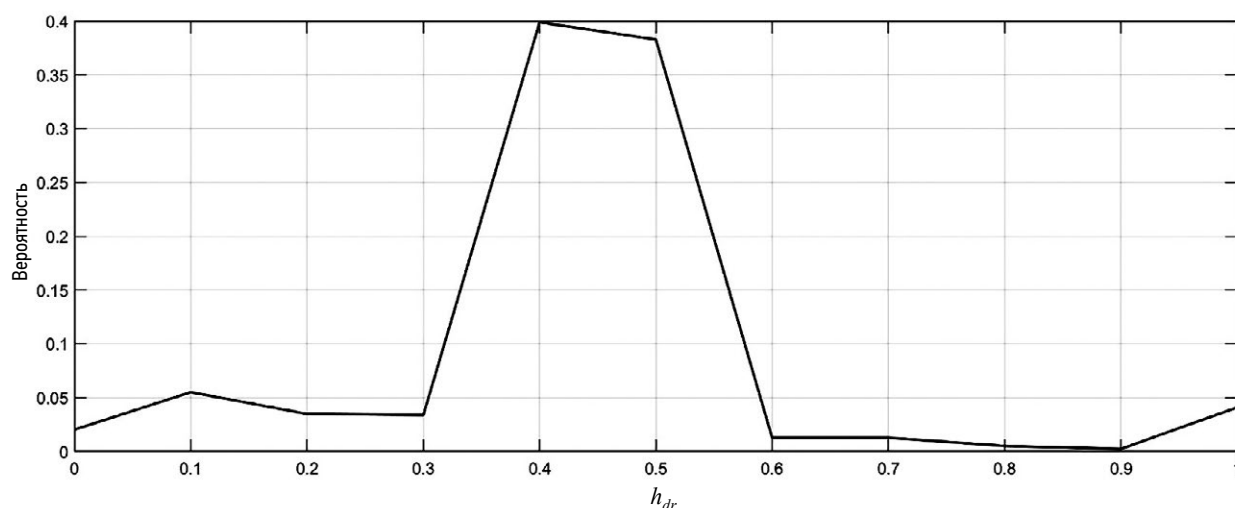
параметры движения машины с прямым управлением моментом тяговых электродвигателей от педали хода.

Зависимости для плотностей вероятности положения тормозной педали и тормозного момента на ведущем колесе не представлены, т. к. в процессе движения водитель гораздо эффективнее использовал рекуперативные возможности тягового привода для замедления и рабочей тормозной системой не пользовался.

На рис. 8–10 представлены те же зависимости для варианта, оснащённого системой формирования управляющего сигнала со стороны только педали хода.

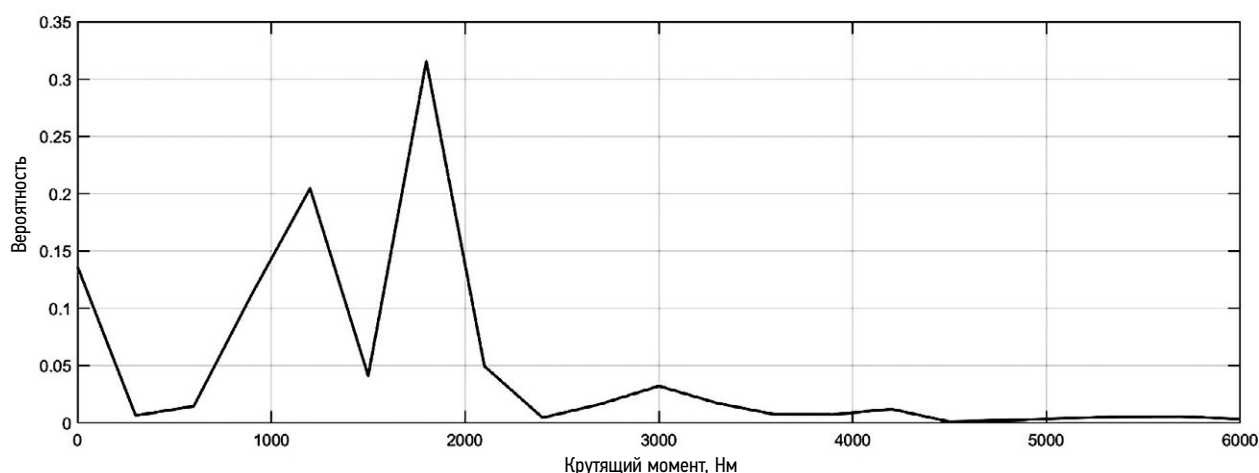
Анализ параметров движения (см. рис. 8–10) электробуса в магистральном цикле с различными алгоритмами управления тяговым электроприводом показывает

следующее. В случае, когда электробус оснащён системой формирования управляющего сигнала со стороны педали акселератора, водитель использует диапазон положения педали акселератора 30...60%, на электробусе с прямым управлением моментом тяговых электродвигателей более равномерно используется практически весь диапазон (до 100%), что может привести к более высокой утомляемости водителя. Диапазоны изменения крутящих моментов на ведущих колёсах практически идентичны. А вот диапазон использования рекуперативного момента для однопедального управления расширен практически в 10 раз (с 25 Нм до 250 Нм), что и обуславливает неиспользование рабочей тормозной системы при однопедальном управлении.



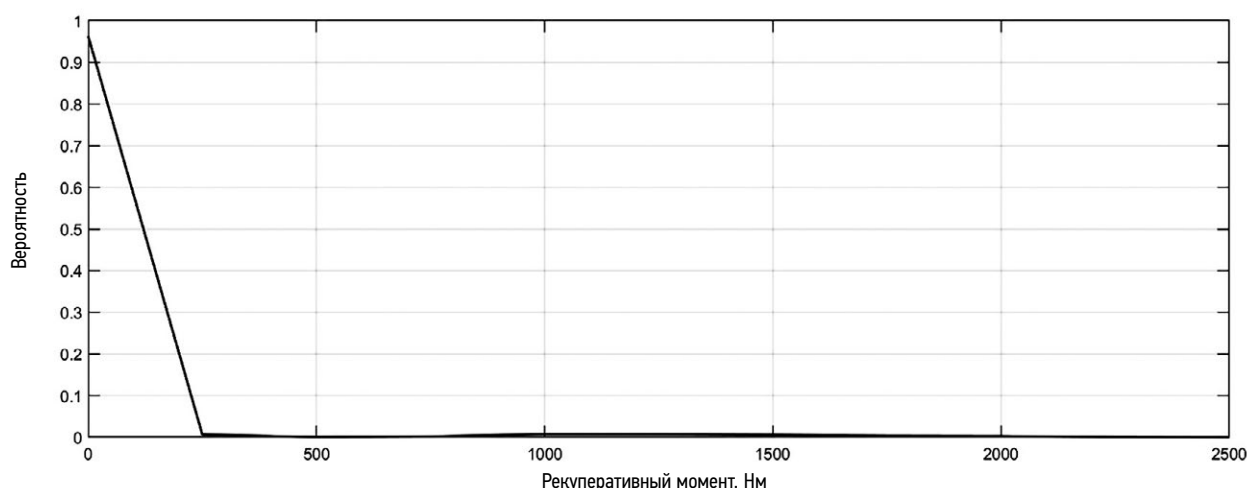
**Рис. 8.** Плотность вероятности положения педали хода для варианта однопедального управления.

**Fig. 8.** Probability density of the accelerator pedal position in the single-pedal control option.



**Рис. 9.** Плотность вероятности крутящего момента на ведущем колесе для варианта однопедального управления.

**Fig. 9.** Probability density of the traction torque at the driving wheel in the single-pedal control option.



**Рис. 10.** Плотность вероятности рекуперативного момента на ведущем колесе для варианта однопедального управления.

**Fig. 10.** Probability density of the regenerative torque at the driving wheel in the single-pedal control option.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ АЛГОРИТМА УПРАВЛЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ ПЕДАЛИ ХОДА ПРИ ВИРТУАЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ С ПОМОЩЬЮ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ МАГИСТРАЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ

Энергоэффективность алгоритмов управления тяговым электроприводом будем оценивать по показателю удельной энергии: суммарной  $W_{\text{сум}}$ , которая затрачивается на движение за один километр пробега

$$W_{\text{сум}} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{L} \int_0^t M_{\text{ки}} \omega_{\text{ки}} dt, \quad (1)$$

и рекуперативной  $W_{\text{рек}}$ , которая вырабатывается тяговыми электродвигателями в генераторном режиме работы и возвращается в тяговую аккумуляторную батарею за один километр пробега

$$W_{\text{рек}} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{L} \int_0^t M_{\text{реки}} \omega_{\text{ки}} dt. \quad (2)$$

В формулах (1) и (2)  $L$  — пройденный путь;  $M_{\text{ки}}$  — полный момент на  $i$ -м ведущем колесе;  $M_{\text{реки}}$  — рекуперативный момент на  $i$ -м ведущем колесе;  $\omega_{\text{ки}}$  — угловая скорость вращения  $i$ -го ведущего колеса.

Суммарная средняя удельная мощность для двух вариантов управления тяговым приводом в магистральном цикле движения показана на рис. 11, рекуперативная средняя удельная мощность — на рис. 12.

## ВЫВОДЫ

Из рис. 11, 12 видно, что в магистральном цикле удельные энергозатраты для электробуса с однопедальным управлением меньше на 7...10% (в зависимости от режима движения) по сравнению с электробусом с прямым управлением моментом тяговых электродвигателей. При этом удельная мощность рекуперации у электробуса с однопедальным управлением в среднем на 300% больше, чем у электробуса с прямым управлением моментом тяговых электродвигателей, что приводит к тому, что рабочая тормозная система практически не задействована в первом случае, что дополнительно ведёт к экономии её ресурса.

## ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

**Вклад авторов.** А.В. Климов — разработка теоретических основ и алгоритма управления ускорением и замедлением

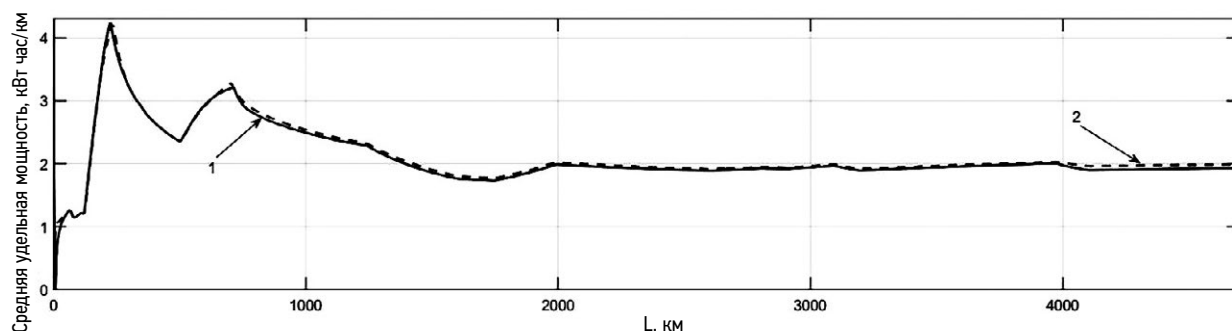
транспортного колёсного средства посредством педали, имитационное математическое моделирование функционирования и эффективности алгоритма, написание текста рукописи, редактирование текста рукописи, создание изображений; Б.К. Оспанбеков — поиск публикаций по теме статьи; А.В. Антонян — доработка математической имитационной модели, проведение расчётов. Авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям *ICMJE* (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

**Конфликт интересов.** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

**Источник финансирования.** Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

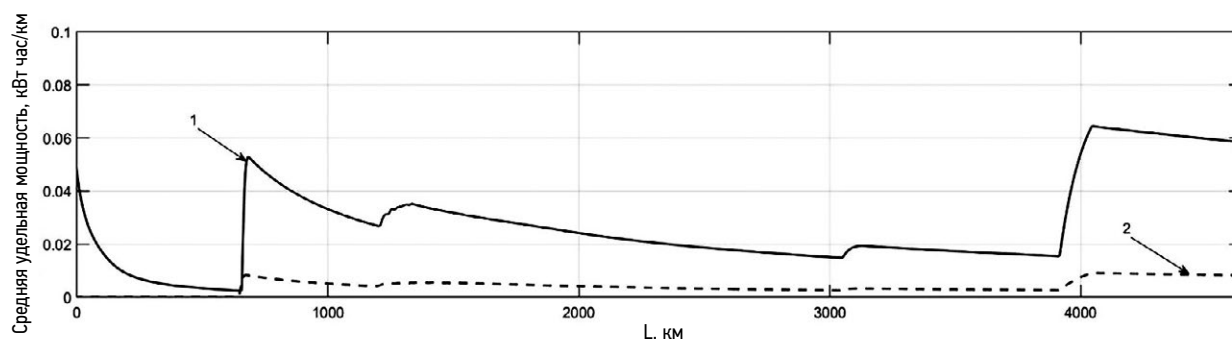
## ADDITIONAL INFORMATION

**Authors' contribution.** A.V. Klimov — development of theoretical fundamentals and the algorithm for controlling acceleration and deceleration of a wheeled vehicle by means



**Рис. 11.** Суммарная удельная энергия, затрачиваемая на движение в магистральном цикле за один километр пробега: 1 — с однопедальным управлением; 2 — с прямым управлением моментом.

**Fig. 11.** Total specific energy consumed for motion in the highway cycle per km: 1 — with the single-pedal control; 2 — with the direct torque control.



**Рис. 12.** Рекуперативная удельная энергия, затрачиваемая на движение в магистральном цикле за один километр пробега: 1 — с однопедальным управлением; 2 — с прямым управлением моментом.

**Fig. 12.** Regenerative specific energy consumed for motion in the highway cycle per km: 1 — with the single-pedal control; 2 — with the direct torque control.

of a pedal, mathematical simulation of the functioning and effectiveness of the algorithm, writing and editing the text of the manuscript, creating images; B.K. Ospanbekov — search for publications on the topic of the article; A.V. Antonyan — revision of the mathematical simulation model, carrying out calculations. The authors confirm that their authorship meets the international ICMJE criteria (all authors have made

a significant contribution to the development of the concept, research and preparation of the article, read and approved the final version before publication).

**Competing interests.** The authors declare that they have no competing interests.

**Funding source.** This study was not supported by any external sources of funding.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Характеристики электробуса КАМАЗ 6282. [internet] Набережные Челны. Дата обращения: 15.10.2022. Режим доступа: <https://kamaz.ru/upload/bus/%D0%AD%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%B1%D1%83%D1%81%20KAMAZ-6282.pdf>
2. Климов А.В., Чиркин В.Г., Тишин А.М. О некоторых конструктивных особенностях и видах транспортных тяговых электрических двигателей // Автомобильная промышленность. 2021. № 7. С. 15–21.
3. Климов А.В., Тишин А.М., Чиркин В.Г. Различные виды тяговых синхронных двигателей для городских условий эксплуатации // Грузовик. 2021. № 6. С. 3–7.
4. Жилейкин М.М., Климов А.В., Масленников И.К. Алгоритм формирования управляющего сигнала со стороны педали акселератора, обеспечивающий энергоэффективное потребление электроэнергии тяговым приводом электробуса // Известия МГТУ «МАМИ». 2022. Т. 16, № 1. С. 51–60. doi: 10.17816/2074-0530-100232
5. Бутарович Д.О., Скотников Г.И., Зраносян А.В. Алгоритм управления рекуперативным торможением с помощью педали акселератора // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. 2022. № 4.
6. Wen He, Chen Wang, Hui Jia. A single-pedal regenerative braking control strategy of accelerator pedal for electric vehicles based on adaptive fuzzy control algorithm // Energy Procedia. 2018. Vol. 152. P. 624–629. doi: 10.1016/j.egypro.2018.09.221
7. Yongqiang Zhao, Xin Zhang, Jiashi Li, et al. A research on evaluation and development of single-pedal function for electric vehicle based on PID // J. Phys.: Conf. Ser. 2020. Vol. 1605.
8. Hongwen He, Chen Wang, Hui Jia, Xing Cui. An intelligent braking system composed single-pedal and multi-objective optimization neural network braking control strategies for electric vehicle // Applied Energy. 2020. Vol. 259. doi: 10.1016/j.apenergy.2019.114172
9. Zhang J., Lv C., Gou J., et al. Cooperative control of regenerative braking and hydraulic braking of an electrified passenger car // Proc. Inst. Mech. Eng., Part D: J Automob. Eng. 2012. Vol. 226, N. 10. P. 1289–1302.
10. Guo J., Wang J., Cao B. Regenerative braking strategy for electric vehicles. In: Intelligent Vehicles Symposium. IEEE, 2009. P. 864–868.
11. Xu Guoqing, Li Weimin, Xu Kun, et al. An intelligent regenerative braking strategy for electric vehicles // Energies. 2011. Vol. 4, N. 9. P. 1461–1477.
12. Zhang J., Lv C., Qiu M., et al. Braking energy regeneration control of a fuel cell hybrid electric bus // Energy Conversion & Management. 2013. Vol. 76. P. 1117–1124.
13. Wang J.W., Tsai S.H., Li H.X., et al. Spatially Piecewise Fuzzy Control Design for Sampled-Data Exponential Stabilization of Semi-linear Parabolic PDE Systems // IEEE Transactions on Fuzzy Systems. 2018. Vol. 26, N. 5. P. 2967–2980.
14. Zhang Kangkang, Xu Liangfei, Jianfeng Hua, et al. A Comparative Study on Regenerative Braking System and Its Strategies for Rear-wheel Drive Battery Electric Vehicles // Automotive Engineering. 2015. N. 02. P. 125–131.
15. Lv C., Zhang J., Li Y., et al. Mechanism analysis and evaluation methodology of regenerative braking contribution to energy efficiency improvement of electrified vehicles // Energy Conversion and Management. 2015. Vol. 92. P. 469–482.
16. Kulas R.A., Rieland H., Pechauer J. A System Safety Perspective into Chevy Bolt's One Pedal Driving // SAE Technical Paper. 2019. doi: 10.4271/2019-01-0133
17. Wang J., Besselink I.J.M., van Boekel J.J.P., Nijmeijer H. Evaluating the energy efficiency of a one pedal driving algorithm In: 2015 European Battery, Hybrid and Fuel Cell Electric Vehicle Congress (EEVC 2015), Brussels, Belgium. Tu/e, 2015.
18. Патент РФ № 2797069 / 31.05.2023. Бюл. № 16. Климов А.В., Оспанбеков Б.К., Жилейкин М.М. и др. Способ управления индивидуальным тяговым электроприводом ведущих колес многоколесного транспортного средства. EDN: QAUBVR
19. Климов А.В. Алгоритм формирования уставок крутящего и тормозного моментов на валу тягового электродвигателя посредством одной педали // Известия МГТУ «МАМИ». 2023. Т. 17, № 3. С. 261–271. doi: 10.17816/2074-0530-321668
20. Жилейкин М.М., Котиев Г.О. Моделирование систем транспортных средств. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2020.
21. Бирюков В.В., Порсев Е.Г. Тяговый электрический привод. Новосибирск: НГТУ, 2018.
22. ГОСТ Р 54810-2011. Автомобильные транспортные средства. Топливная экономичность. Методы испытаний. М.: СТАНДАРТИНФОРМ, 2012.

## REFERENCES

1. Characteristics of the KAMAZ 6282 electric bus. [internet] Naberezhnye Chelny. Accessed: 15.10.2022. Available from: <https://kamaz.ru/upload/bus/%D0%AD%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%B1%D1%83%D1%81%20KAMAZ-6282.pdf>
2. Klimov AV, Chirkin VG, Tishin AM. On some design features and types of transport traction electric motors. *Avtomobilnaya promyshlennost*. 2021;7:15–21. (In Russ).
3. Klimov AV, Tishin AM, Chirkin VG. Various types of synchronous traction motors for urban operating conditions. *Gruzovik*. 2021;6:3–7. (In Russ).
4. Zhileykin MM, Klimov AV, Maslennikov IK. Control signal algorithm of the accelerator pedal providing an effective energy consumption by an electrobus traction gear. *Izvestiya MG TU MAMI*. 2022;16(1):51–60. (In Russ). doi: 10.17816/2074-0530-100232

5. Butarovich DO, Skotnikov GI, Eranosyan AV. Algorithm for controlling regenerative braking using the accelerator pedal. *Nauchno-tehnicheskiiy vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2022;4. (In Russ).
6. Wen He, Chen Wang, Hui Jia. A single-pedal regenerative braking control strategy of accelerator pedal for electric vehicles based on adaptive fuzzy control algorithm. *Energy Procedia*. 2018;152:624–629. doi: 10.1016/j.egypro.2018.09.221
7. Yongqiang Zhao, Xin Zhang, Jiashi Li, et al. A research on evaluation and development of single-pedal function for electric vehicle based on PID. *J. Phys.: Conf. Ser.* 2020;1605.
8. Hongwen He, Chen Wang, Hui Jia, Xing Cui. An intelligent braking system composed single-pedal and multi-objective optimization neural network braking control strategies for electric vehicle. *Applied Energy*. 2020;259. doi: 10.1016/j.apenergy.2019.114172
9. Zhang J, Lv C, Gou J, et al. Cooperative control of regenerative braking and hydraulic braking of an electrified passenger car. *Proc. Inst. Mech. Eng., Part D: J Automob. Eng.* 2012;226(10):1289–1302.
10. Guo J, Wang J, Cao B. Regenerative braking strategy for electric vehicles. In: *Intelligent Vehicles Symposium*. IEEE; 2009:864–868.
11. Xu Guoqing, Li Weimin, Xu Kun, et al. An intelligent regenerative braking strategy for electric vehicles. *Energies*. 2011;4(9):1461–1477.
12. Zhang J, Lv C, Qiu M, et al. Braking energy regeneration control of a fuel cell hybrid electric bus. *Energy Conversion & Management*. 2013;76:1117–1124.
13. Wang JW, Tsai SH, Li HX, et al. Spatially Piecewise Fuzzy Control Design for Sampled-Data Exponential Stabilization of Semi-linear Parabolic PDE Systems. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*. 2018;26(5):2967–2980.
14. Zhang Kangkang, Xu Liangfei, Jianfeng Hua, et al. A Comparative Study on Regenerative Braking System and Its Strategies for Rear-wheel Drive Battery Electric Vehicles. *Automotive Engineering*. 2015;02:125–131.
15. Lv C, Zhang J, Li Y, et al. Mechanism analysis and evaluation methodology of regenerative braking contribution to energy efficiency improvement of electrified vehicles. *Energy Conversion and Management*. 2015;92:469–482.
16. Kulas RA, Rieland H, Pechauer J. A System Safety Perspective into Chevy Bolt's One Pedal Driving. *SAE Technical Paper*. 2019. doi: 10.4271/2019-01-0133
17. Wang J, Besselink IJM, van Boekel JJP, Nijmeijer H. Evaluating the energy efficiency of a one pedal driving algorithm In: *2015 European Battery, Hybrid and Fuel Cell Electric Vehicle Congress (EEVC 2015), Brussels, Belgium*. Tu/e; 2015.
18. Patent RF № 2797069 / 31.05.2023. Byul. № 16. Klimov AV, Ospanbekov BK, Zhileykin MM, et al. Sposob upravleniya individualnym tyagovym elektropivodom vedushchikh koles mnogokolesnogo transportnogo sredstva. (In Russ). EDN: QAUBVR
19. Klimov AV. Algorithm for forming traction and braking torque settings at the shaft of a traction motor by means of a single pedal. *Izvestiya MGTU MAMI*. 2023;17(3):261–271. (In Russ). doi: 10.17816/2074-0530-321668
20. Zhileikin MM, Kotiev GO. *Modeling of transport systems*. Moscow: Bauman MSTU; 2020. (In Russ).
21. Biryukov VV, Porsev EG. *Traction electric drive*. Novosibirsk: NGTU; 2018.
22. GOST R 54810-2011. Avtomobilnye transportnye sredstva. Topliva ekonomichnost. Metody ispytaniy. Moscow: STANDARTINFORM; 2012. (In Russ).

## ОБ АВТОРАХ

### \* Климов Александр Владимирович,

канд. техн. наук,  
руководитель службы электрифицированных автомобилей;  
доцент Перспективной инженерной школы электротранспорта;  
адрес: Российская Федерация, 143026, Москва, ИЦ СКОЛКОВО,  
ул. Большой бульвар, д. 62;  
ORCID: 0000-0002-5351-3622;  
eLibrary SPIN: 7637-3104;  
e-mail: klimmanen@mail.ru

### Оспанбеков Бауржан Кенесович,

канд. техн. наук,  
заместитель руководителя службы электрифицированных  
автомобилей по системам управления;  
доцент Перспективной инженерной школы электротранспорта;  
ORCID: 0000-0003-2756-7907;  
eLibrary SPIN: 4857-4073;  
e-mail: ospbk@mail.ru

### Антонян Акоп Ваганович,

канд. техн. наук,  
главный специалист по программированию и имитационному  
моделированию; доцент, старший научный сотрудник  
Передовой инженерной школы электротранспорта;  
ORCID: 0000-0002-5566-6569;  
eLibrary SPIN: 4797-9808;  
e-mail: AntonyanAV@kamaz.ru

## AUTHORS' INFO

### \* Alexander V. Klimov,

Cand. Sci. (Engineering),  
Head of the Electrified Vehicles Service; Associate Professor  
of the Advanced Engineering School of Electric Transport;  
address: 62 Bolshoy boulevard, IC SKOLKOVO, 143026 Moscow,  
Russian Federation;  
ORCID: 0000-0002-5351-3622;  
eLibrary SPIN: 7637-3104;  
e-mail: klimmanen@mail.ru

### Baurzhan K. Ospanbekov,

Cand. Sci. (Engineering),  
Deputy Head of the Electrified Vehicles Service;  
Associate Professor of the Advanced Engineering School  
of Electric Transport;  
ORCID: 0000-0003-2756-7907;  
eLibrary SPIN: 4857-4073;  
e-mail: ospbk@mail.ru

### Akop V. Antonyan,

Cand. Sci. (Engineering),  
Head Specialist in Programming and Simulation Modeling;  
Associate Professor, Senior Researcher of the Advanced  
Engineering School of Electric Transport;  
ORCID: 0000-0002-5566-6569;  
eLibrary SPIN: 4797-9808;  
e-mail: AntonyanAV@kamaz.ru

\* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author