Оригинальная статья

УДК 004:629.33:621.396.663 © Д.Ю. Худоногов✉[1], И.Н. Сушкин[2], М.С. Никитенко[1], С.А. Кизилов[1], 2025

[1] ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН» (ФИЦ УУХ СО РАН), 650065, г. Кемерово, Россия
[2] Сибирский федеральный университет, 660041, г. Красноярск, Россия
✉ e-mail: admolv@gmail.com

Original Paper

UDC 004:629.33:621.396.663 © D.Yu. Khudonogov✉[1], I.N. Sushkin[2], M.S. Nikitenko[1], S.A. Kizilov[1], 2025

[1] Federal Research Center of Coal and Coal-Chemistry of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Kemerovo, 650065, Russian Federation
[2] Siberian Federal University, Krasnoyarsk, 660041, Russian Federation
✉ e-mail: admolv@gmail.com

Способ позиционирования карьерного транспорта под ковш экскаватора на погрузочной площадке*

Haul truck positioning method under an excavator bucket

DOI: http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2025-12-86-90

ХУДОНОГОВ Д.Ю.
Научный сотрудник
ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН»,
650065, г. Кемерово, Россия,
e-mail: admolv@gmail.com

СУШКИН И.Н.
Канд. техн. наук, заведующий кафедрой «Специальные радиотехнические системы»,
Сибирский федеральный университет,
660041, г. Красноярск, Россия,
e-mail: isushkin@sfu-kras.ru

НИКИТЕНКО М.С.
Канд. техн. наук, заведующий лабораторией
ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН,
650065, г. Кемерово, Россия,
e-mail: ltd.mseng@gmail.com

КИЗИЛОВ С.А.
Канд. техн. наук, научный сотрудник
ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН,
650065, г. Кемерово, Россия,
e-mail: sergkizilov@gmail.com

Работа нацелена на повышение производительности труда при погрузочных работах на угольном разрезе за счет уменьшения времени простоя экскаватора при маневрировании грузового транспорта. В качестве объекта рассмотрен процесс взаимной ориентации подвижных объектов для позиционирования карьерного транспорта, организованный на основе применения навигационной аппаратуры потребителя и работающей по сигналам спутниковых радионавигационных систем. Предложен способ маневрирования на погрузочной площадке автомобиля из состава экскаваторно-автомобильного комплекса при постановке под ковш экскаватора для последующей погрузки. Рассматриваются варианты размещения виртуальной модели погрузочной площадки при тупиковом маршруте заезда автосамосвала в технологические зоны для маневра и погрузки. Предлагаемый способ применения навигационной аппаратуры потребителя, виртуальная модель погрузочной площадки и схемы маневрирования автосамосвала между технологическими зонами внутри нее позволяют уменьшить время постановки автомобиля под ковш экскаватора, а также снизить аварийность при погрузке породы и угля. Виртуальная модель погрузочной площадки и схема маневрирования автосамосвала могут меняться и зависят от габаритных размеров составных частей экскаваторно-автомобильного комплекса.

** Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук», проект FWEZ-2024-0025 «Разработка научных основ создания автономных и автоматизированных горных машин, оборудования, технических и управляющих систем на базе перспективных цифровых и роботизированных технологий» (продление).*

Ключевые слова: *экскаваторно-автомобильный комплекс, спутниковые радионавигационные системы, схема погрузки, маневрирование, взаимная ориентация подвижных объектов, виртуальная модель технологической площадки, относительные координаты, взаимная ориентация, фазовые измерения, навигационная аппаратура потребителя.*

Для цитирования: Способ позиционирования карьерного транспорта под ковш экскаватора на погрузочной площадке / Д.Ю. Худоногов, И.Н. Сушкин, М.С. Никитенко и др. // Уголь. 2025;(12):86-90. DOI: 10.18796/0041-5790-2025-12-86-90.

Abstract

This work aims to enhance labor productivity during loading operations at a coal open-pit mine by reducing excavator idle time caused by haul truck maneuvering. The study focuses on the process of mutual orientation of mobile objects for positioning haul trucks, organized using satellite navigation receiver equipment. A method for maneuvering a haul truck from an excavator-truck complex at the loading point for positioning under the excavator bucket is proposed. The paper explores options for deploying a virtual model of the loading area with a dead-end entry route for the truck into the designated maneuvering and loading zones. The proposed approach – utilizing navigation receivers, a virtual model of the loading area, and defined truck maneuvering schemes between its technological zones – enables a reduction in the truck spotting time under the excavator bucket and improves loading safety for both overburden and coal. The virtual model and the maneuvering scheme are adaptable and depend on the dimensional parameters of the excavator-truck complex equipment.

Keywords

Excavator and automobile complex, satellite radio navigation systems, loading scheme, maneuvering, mutual orientation of moving objects, virtual model of the technological site, relative coordinates, mutual orientation, phase measurements, consumer navigation equipment.

Acknowledgements

The work was carried out within the framework of the State assignment of the Federal Research Center of Coal and Coal Chemistry of Siberian Branch of the RAS, project FWEZ-2024-0025 "Development of scientific foundations for the creation of autonomous and automated mining machines, equipment, technical and control systems based on promising digital and robotic technologies (prolongation) .

For citation

Khudonogov D.Yu., Sushkin I.N., Nikitenko M.S., Kizilov S.A. Haul truck positioning method under an excavator bucket. *Ugol'*. 2025;(12):86-90. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2025-12-86-90.

ВВЕДЕНИЕ

Объем угля, извлекаемый открытым способом на сегодняшний день составляет 74% от общего объема его добычи в Российской Федерации, и в дальнейшем эта цифра стремится к увеличению. При этом важной остается проблема повышения эксплуатационной производительности экскаваторно-автомобильных комплексов (ЭАК), на которую влияют параметры горных машин, взаимодействующих во времени и пространстве, а также внеплановые простои, которые могут занимать до 57% рабочего времени, что приводит к временному прекращению работ и, как следствие, снижению производительности и финансовым потерям [1]. В то же время минерально-сырьевой комплекс Российской Федерации и других добывающих стран (Китай, Индия, Индонезия, ЮАР и пр.) сталкивается с новыми вызовами, связанными с ухудшением горно-геологических условий с увеличением глубины добычи как при открытом, так и при подземном способах разработки [2, 3, 4]. Становятся все более актуальными развитие и внедрение методов и технических средств автоматизации машин и оборудования, актуализируются подходы, обеспечивающие автономность оборудования, снижение времени простоя, повышение эффективности и коэффициента готовности [5].

Удельный вес транспортных затрат в трудоемкости и энергоемкости процесса добычи полезных ископаемых при работе с глубины 100-150 м достигает 55-60%, а при увеличении глубины до 200-250 м увеличивается до 65-70%. Из них более 50% приходится на автомобильный транспорт. При этом в «Программе развития угольной промышленности России на период до 2035 года» особое внимание уделено: снижению аварийности, травматизма на угледобывающих предприятиях; кардинальному повышению производительности труда при обеспечении роста фондоотдачи и фондовооруженности труда в основном производстве [6].

Одним из направлений повышения производительности труда являются сокращение времени маневрирования автомобиля под ковш экскаватора и уменьшение времени простоя ЭАК, которое зачастую обусловлено недостаточными квалификацией и опытом работников. Применение современных систем автоматизации труда, позволяющих водителю в режиме реального времени отслеживать взаимное расположение объектов ЭАК, позволит уменьшить время маневрирования и установку автомобиля под ковш экскаватора.

Одним из перспективных направлений исследований, направленных на обеспечение взаимной ориентации объектов карьерного транспорта под ковш экскаватора на технологическом участке погрузки является применение спутниковых радионавигационных систем (СРНС) [7, 8, 9], при этом не исключаются и альтернативные варианты позиционирования, не требующие наличия спутниковых систем как таковых [10, 11], однако в текущем варианте построения системы позиционирования они не рассматриваются. Применение навигационной аппаратуры потребителя (НАП), работающей по сигналам спутниковых радионавигационных систем [12, 13, 14] позволяет позиционировать карьерный транспорт под ковш экскаватора на погрузочной площадке для создания впоследствии системы, ассистирующей водителю в процессе подъезда под погрузку, сокращения времени маневрирования, снижения внеплановых простоев, связанных с ожиданием.

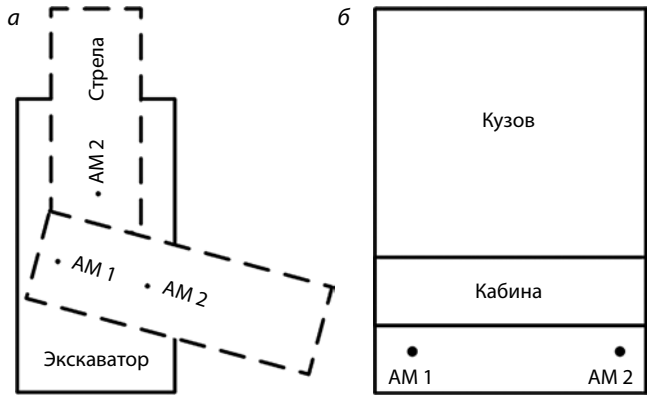

Рис. 1. Схема расположения антенных модулей: а – на экскаваторе, б – на автомобиле

Fig. 1. The layout of the antenna modules: a – on the excavator, b – on the haul truck

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для определения взаимной ориентации объектов ЭАК предполагается использование антенных систем с несколькими разнесенными антенными модулями. При размещении навигационной аппаратуры потребителя на экскаваторе необходимо использование двух антенных модулей, как показано на *рис. 1, а*. Расположение двух антенных модулей позволяет определить азимутальное направление стрелы экскаватора.

На *рис. 1, б* представлено расположение антенных модулей на автомобиле, позволяющих определить взаимную ориентацию по направлению к стреле экскаватора.

Предлагаемый метод определения взаимной ориентации объектов ЭАК в технологической зоне позволяет построить виртуальную модель погрузочной площадки с указанием траектории маневрирования автомобиля.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На *рис. 2, а* представлена виртуальная модель погрузочной площадки с расположенными на ней объектами ЭАК. Показана антенная система НАП экскаватора, позволяющая определить азимутальную ориентацию стрелы экскаватора, а также его абсолютные координаты.

Технологическая зона № 1 предназначена для установки автомобиля под ковш экскаватора. Расстояние от стрелы экскаватора до центра зоны № 1 определяется типом экскаватора (схема показана на примере экскаватора РН2800) и может составлять до 18 м [15, 16].

Технологическая зона № 2 предназначена для маневрирования автомобиля и содержит виртуальные ворота для постановки автомобиля с последующим маневром в виртуальную зону № 1. Размеры технологической зоны № 2 зависят от габаритных размеров автомобиля. Размеры зоны определяются типом автомобиля, на схеме показана на примере автосамосвала БелАЗ-7530 и составляют 8,5×13,5 м.

На *рис. 2, б* представлен вариант маневрирования автомобиля при постановке под ковш экскаватора. Используя координаты антенных модулей навигационной аппаратуры потребителя, установленной на автомобиле, и габаритные размеры автомобиля, производится виртуальное отображение автомобиля, а также технологических зон № 1 и № 2. Задача водителя – используя виртуальную модель погрузочной площадки, которая отображается на экране монитора, заехать на технологическую зону № 2, встать в виртуальные ворота, затем задним ходом встать в технологическую зону № 1, как показано на *рис. 2, б*.

На *рис. 3* представлены вариант виртуальной модели погрузочной площадки и схема параллельного маневрирования автомобиля между зонами.

Вариант, представленный на *рис. 3*, является более предпочтительным, так как обеспечивает дополнительный визуальный контроль водителем расположения экскаватора

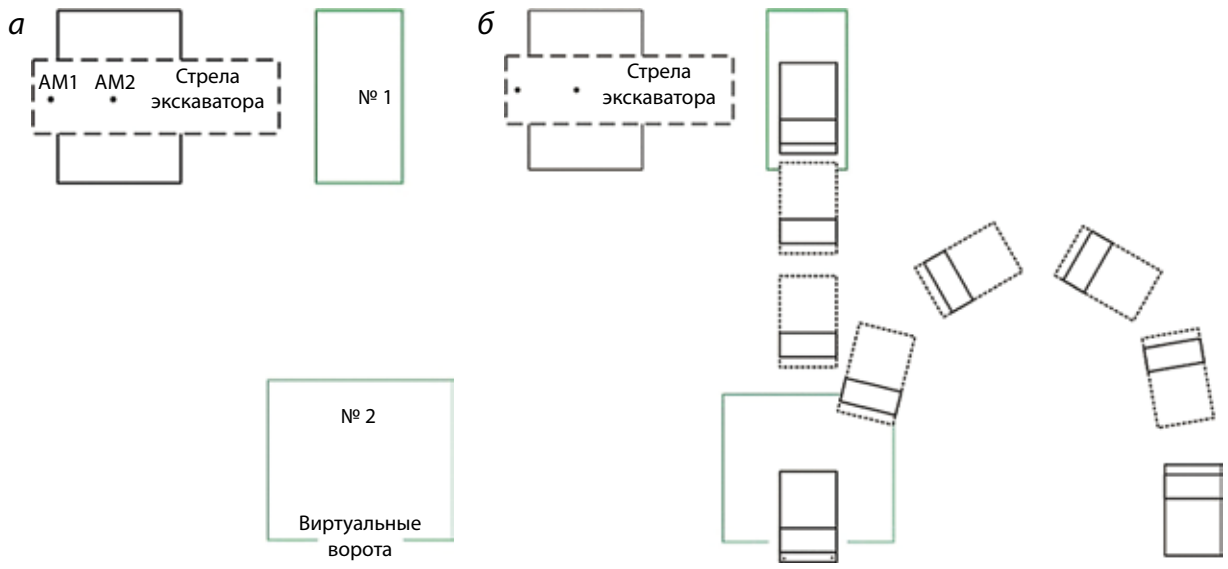

Рис. 2. Виртуальная модель погрузочной площадки, где: а – расположение технологических зон, б – схема маневрирования автомобиля

Fig. 2. Virtual model of the loading area, where: a – the location of the technological zones, b – the scheme of the haul truck maneuvering

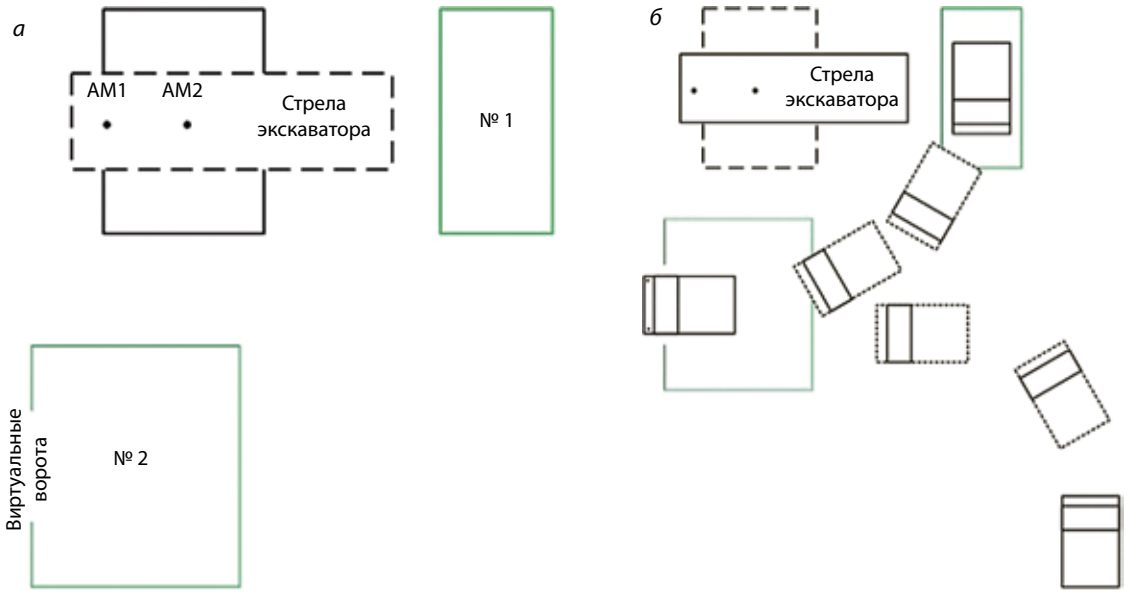

Рис. 3. Виртуальная модель погрузочной площадки, где: а – расположение технологических зон, б – схема маневрирования автомобиля

Fig. 3. Virtual model of the loading area, where: a – the location of the technological zones, b – the scheme of the haul truck maneuvering

относительно автомобиля, однако не исключает применения и иных схем маневрирования. Предложенные способ позиционирования карьерного транспорта под ковш экскаватора на погрузочной площадке и разработанная виртуальная модель позволяют переходить к созданию ассистента водителю в процессе маневрирования и постановки машины под погрузку.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках работы рассмотрены технические, программные и организационные решения для обеспечения работы объектов ЭАК в автоматизированном режиме. В частности, разработан и предложен способ взаимной ориентации объектов на примере разработки системы позиционирования карьерного транспорта под ковш экскаватора на погрузочной площадке угольного разреза. В результате работы сделаны следующие выводы:

1. Система взаимной ориентации карьерного транспорта под ковш экскаватора с применением спутниковых радионавигационных систем позволяет обеспечить позиционирование объектов ЭАК в режиме реального времени с точностью не хуже одного метра вправо и влево относительно центральной точки ковша экскаватора.

2. Предлагается методика применения навигационной аппаратуры потребителя, работающей по сигналам спутниковых радионавигационных систем, позволяющая в режиме реального времени ассистировать водителю в процессе подъезда с указанием траектории маневрирования автомобиля.

Список литературы • References

1. Стенин Д.В., Фурман А.С., Ашихмин В.Е. Исследование режима работы экскаваторно-автомобильного комплекса на открытых разработках // Автомобильный транспорт. 2007. № 5. С. 96-98.
Stenin D.V., Furman A.S., Ashikhmin V.E. Study of the operating mode of an excavator-automobile complex in open-pit mining. Avtomobil'nyy transport. 2007;(5):96-98. (In Russ.).
2. Rakesh M., Dash A.K. Strata Control Challenges and Monitoring Strategies in Indian Coal Mining under Complex Geotechnical Conditions. Journal of Mines, Metals and Fuels. 2025;73(7):2197-206. DOI: 10.18311/jmmf/2025/49359.
3. Zhou Y., Li C., Yang W. Dynamic Assessment of the Eco-Environmental Effects of Open-Pit Mining: A Case Study in a Coal Mining Area (Inner Mongolia, Western China). Sustainability. 2025;17(11):5078. DOI: https://doi.org/10.3390/su17115078.
4. Santoso H., Situmorang R.M. Groundwater Modeling in Open Pit Coal Mining Plans Using the Finite Difference Method – Case Study from the Bengalon River Basin (East Kalimantan, Indonesia). IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2025;(1517):012025. DOI: 10.1088/1755-1315/1517/1/012025.
5. Вуейкова О.Н., Ларин О.Н. Вопросы повышения эффективности работы карьерного автотранспорта // Вестник Оренбургского государственного университета. 2011. № 10. С. 20-25.
Vuyeikova O.N., Larin O.N. Issues of increasing the efficiency of quarry vehicles. Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta. 2011;(10):20-25. (In Russ.).
6. Программа развития угольной промышленности России на период до 2035 года, от 13 июня 2020 г. № 1582-р.
7. Кузнецов И.С. Оптимизация параметров карьерных экскаваторно-автомобильных комплексов с учетом внеплановых простоев: дис. … канд. техн. наук / Кузнецов Игорь Сергеевич, 2022. 169 с.
8. Сушкин И.Н. Высокоточные фазовые методы измерения в спутниковой навигационной аппаратуре потребителя // Успехи современной радиоэлектроники. Зарубежная радиоэлектроника. 2014. № 5. С. 57-60.
Sushkin I.N. High-precision phase measurement methods in consumer satellite navigation equipment. Uspekhi sovremennoy

radioelektroniki. Zarubezhnaya radioelektronika. 2014;(5):57-60. (In Russ.).

9. Герко С.А. Алгоритмы определения относительных координат подвижных объектов по измерениям псевдофаз и их приращениям в ГНСС: дис. … канд. техн. наук / Герко Сергей Александрович, 2012. 159 с.
10. Никитенко М.С., Худоногов Д.Ю., Попинако Я.В. Способ позиционирования автономного транспортного средства на основе машинного зрения и радиопеленгации // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. 2023. № 12-2. С. 84-86. DOI: 10.37882/2223-2966.2023.12-2.20.
    Nikitenko M.S., Khudonogov D.Yu., Popinako Ya.V. Autonomous vehicle positioning approach based on machine vision and direction finding. Sovremennaya nauka: aktual'nyye problemy teorii i praktiki. Seriya: Yestestvennyye i tekhnicheskiye nauki. 2023;(12-2):84-86. (In Russ.). DOI: 10.37882/2223-2966.2023.12-2.20.
11. Худоногов Д.Ю., Никитенко М.С., Кизилов С.А. Применение методов пеленгации в задачах ориентации автономных транспортных средств на закрытом технологическом участке // Современные наукоемкие технологии. 2023. № 12-2. С. 239-245. DOI: 10.17513/snt.39888.
    Khudonogov D.Yu., Nikitenko M.S., Kizilov S.A. Direction finding methods application for autonomous vehicles orientation in closed technological area. Sovremennyye naukoyemkiye tekhnologii. 2023;(12-2):239-245. (In Russ.). DOI: 10.17513/snt.39888.
12. Методы взаимной высокоточной навигации, основанные на использовании относительных режимов работы угломерных приемников сигналов глобальных навигационных спутниковых систем / Д.Д. Дмитриев, В.Н. Тяпкин, Ю.Л. Фатеев и др. // Космические аппараты и технологии. 2022. Т. 6. № 2. С. 123-132. DOI: 10.26732/j.st.2022.2.07.
    Dmitriev D.D., Tyapkin V.N., Fateev Yu.L., Gladyshev A.B., Kremez N.S. Methods of mutual high-precision navigation based on the use of relative operating modes of goniometric receivers of global navigation satellite systems signals. Kosmicheskiye apparaty i tekhnologii. 2022;6(2):123-132. (In Russ.). DOI: 10.26732/j.st.2022.2.07.
13. Жодзишский А.И., Нестеров О.В. Патент РФ № 2624268 «Способ определения взаимного положения объектов по сигналам глобальных навигационных спутниковых систем». Заявка № 2016135147, 30 июня 2016 г. Опубл. 03.07.2017. Бюл. № 19.
14. Фазовые измерения в угломерной аппаратуре ГЛОНАСС/GPS без разрешения фазовой неоднозначности / Ю.Л. Фатеев, Д.Д. Дмитриев, В.Н. Тяпкин и др. // Наукоемкие технологии. 2014. Т. 15. № 9. С. 16-19.
    Fateev Yu.L., Dmitriev D.D., Tyapkin V.N., Kremez N.S. Phase measurement in angle measuring equipment GLONASS/GPS without the permission of ambiguities. Naukoyemkiye tekhnologii. 2014;15(9):16-19. (In Russ.).
15. Yang S.-Q., Huang X.-L., Shen Z.-H., Zhang Y.-M. Knowledge-Based Structure Optimization Design for Boom of Excavator. Mathematical Problems in Engineering. 2021;(8869758):14. DOI: https://doi.org/10.1155/2021/8869758
16. Kuvshinkin S., Ivanova P. Impact analysis of bucket capacity and boom length of mining excavators on hoisting mechanism life. E3S Web of Conferences. 2021;(326):00032. DOI: 10.1051/e3sconf/202132600032.

Authors Information

Khudonogov D.Yu. – Scientific Fellow, Federal Research Center of Coal and Coal Chemistry of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Kemerovo, 650065, Russian Federation, e-mail: admolv@gmail.com

Sushkin I.N. – PhD (Engineering), Head of the Department of Special Radio Engineering Systems, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, 660041, Russian Federation, e-mail: isushkin@sfu-kras.ru

Nikitenko M.S. – PhD (Engineering), Head of laboratory, Federal Research Center of Coal and Coal Chemistry of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Kemerovo, 650065, Russian Federation, e-mail: ltd.mseng@gmail.com

Kizilov S.A. – PhD (Engineering), Scientific Fellow, Federal Research Center of Coal and Coal Chemistry of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Kemerovo, 650065, Russian Federation, e-mail: sergkizilov@gmail.com

Информация о статье

Поступила в редакцию: 3.10.2025
Поступила после рецензирования: 15.11.2025
Принята к публикации: 28.11.2025

Paper info

Received October 3, 2025
Reviewed November 15, 2025
Accepted November 28, 2025