

Техноценологический метод аналитической оценки уровня автоматизации горно-транспортных машин

Р.Н. Сафиуллин¹, А.Ф. Клебанов², М.С. Присяжнюк³, Б.С. Иванов⁴, В.А. Ефремова¹✉

¹ Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

² Группа компаний «Цифра», г. Москва, Российская Федерация

³ Комитет Ленинградской области по транспорту, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

⁴ ООО «СберАвтомотивТехнологии», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

✉ vikaefr99@gmail.com

Резюме: Предложены схема функциональной архитектуры интегрированных технологий высокоавтоматизированных карьерных самосвалов и структурная модель оценки функциональных возможностей горных машин. Эта схема позволила разработать техноценологический метод аналитической оценки состава бортового оборудования с целью установления уровня автоматизации горной машины. Разработан алгоритм определения уровня автоматизации горной машины на основании предлагаемой зависимости рангового параметрического распределения автоматизированных систем управления. Имитационное моделирование движения карьерных самосвалов, имеющих повышенный уровень автоматизации, позволило подтвердить улучшение технико-эксплуатационных показателей карьерных самосвалов на 14,3%. Корректировка исходных данных для горных машин при внедрении интеграционных технологий и подключение к объектам инфраструктуры показали существенное снижение торможений горных машин и их среднее нахождение в системе. Число остановок транспортных средств снизилось с 2,5 до 1,5, максимальное время нахождения в системе – с 480 до 350 с. Повышение эффективности использования горных машин обусловлено возможностью транспортного средства взаимодействовать с объектами транспортной инфраструктуры.

Ключевые слова: техноценологический метод, горные машины, карьерные самосвалы, автоматизированная система управления, интеллектуальные транспортные системы, бортовые информационно-управляющие системы

Для цитирования: Сафиуллин Р.Н., Клебанов А.Ф., Присяжнюк М.С., Иванов Б.С., Ефремова В.А. Техноценологический метод аналитической оценки уровня автоматизации горно-транспортных машин. *Горная промышленность*. 2025;(1S):34–40. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-1S-34-40>

Technocenological method for analytical assessment of the automation level of mining-and-transport machines

R.N. Safiullin¹, A.F. Klebanov², M.S. Prysiazhniuk³, B.S. Ivanov⁴, V.A. Efremova¹✉

¹ Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University, Saint Petersburg, Russian Federation

² Zyfra Group, Moscow, Russian Federation

³ Transport Committee of the Leningrad Region, Saint Petersburg, Russian Federation

⁴ SberAutoTech, Saint Petersburg, Russian Federation

✉ vikaefr99@gmail.com

Abstract: A schematic chart of the functional architecture of integrated technologies is proposed for highly automated mining dump trucks as well as a structural model for evaluating the functional capabilities of mining machines. This chart helped to develop a technocenological method for analytical assessment of the on-board equipment mix in order to determine the automation level of the mining machine. An algorithm has been developed to determine the level of mining machine automation, based on the proposed dependence of the rank parametric distribution of the automated control systems. Simulation modeling of the mine dump trucks movement, having the increased level of automation, allowed to confirm the improvement of technical and operational indicators of the mine dump trucks by 14.3%. Adjustment of input data for the mining machines at implementation of the integration technologies and connection to the infrastructure facilities showed a significant decrease in application of brakes of the mining machines and their average stay within the system. The number of vehicle stops decreased from 2.5 to 1.5, and the maximum time within the system decreased from 480 to 350 s. The increased efficiency of the mining machines utilization is determined by the ability of the vehicle to interact with the transport infrastructure facilities.

Keywords: technocological method, mining machines, mining dump trucks, automated control system, intelligent transportation systems, on-board information and control systems

For citation: Safiullin R.N., Klebanov A.F., Prysiashniuk M.S., Ivanov B.S., Efremova V.A. Technocological method for analytical assessment of the automation level of mining-and-transport machines. *Russian Mining Industry*. 2025;(1S):34–40. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-1S-34-40>

Введение

Для повышения коэффициента технической готовности горной машины (ГМ) с целью предупреждения отказов и неисправностей необходимо производить мониторинг технического состояния систем горной машины с помощью внедрения интеграционных технологий, представляющих собой набор алгоритмов для сбора, обработки и получения информации о техническом состоянии систем единицы техники, влияющих на оптимизацию отдельных операций в процессе использования ГМ (рис. 1) [1; 2].

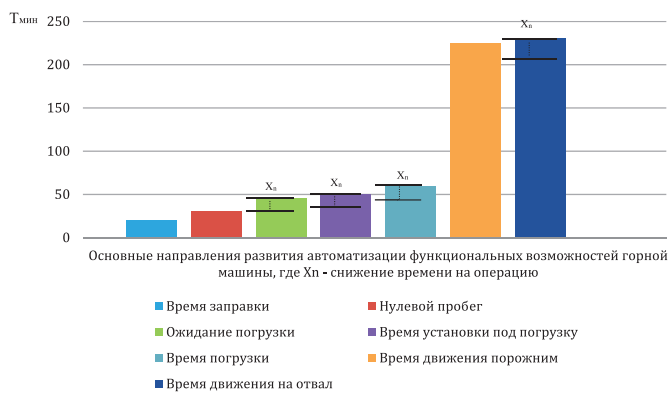


Рис. 1
 Основные направления развития автоматизации функциональных возможностей горной машины (X_n – снижение времени на операцию)

Fig. 1
 The main directions of automation of mining machine functional features (X_n – reduction of time per operation)

Направления оптимизации эксплуатации ГМ при внедрении бортовых информационно-управляющих систем (БИУС) по показателям изменения затрат на ремонт и обслуживание, расход топлива, номинальную грузоподъемность горной машины, время работы и эффективность оператора позволят снизить затраты до 15% [3–5].

Проблема разработки метода оценки через анализ возможностей и контроля функционирования бортовых информационно-управляющих систем в составе горных машин заключается в переводе качественных параметров электронных систем управления в количественные оценки влияния электронных систем на эффективность использования горных машин [6; 7]. При этом существует необходимость разработки методики определения минимального состава электронных систем управления и алгоритма оценки их влияния на эффективность использования ГМ. На сегодняшний день выбор бортовых информационно-

управляющих систем, обеспечивающих возможность перехода ГМ к следующему уровню автономности, производится необоснованно и не имеет никакой подкрепляющей выбор методики [8–10], и не установлены параметры влияния внедряемых автоматизированных систем управления (АСУ) на технические характеристики (ТХ) горных машин.

Материалы и методы

Для разработки математической модели обоснования состава БИУС горных машин грузоподъемностью от 10 до 25 т и от 25 до 50 т определены весовые коэффициенты эффективности внедрения автоматизированных систем управления горных машин на основании методов экспертной оценки, ранжирования, рангового и эмпирического анализа, а также применения методик технoценoза.

Результаты

Уровень автоматизации горных машин определяется возможностью бортовых информационно-управляющих систем поддерживать автоматическое управление отдельными системами или комплексом систем горных машин для обеспечения полного или частичного беспилотного движения при одновременном взаимодействии с системами транспортной инфраструктуры (рис. 2) [11–13].

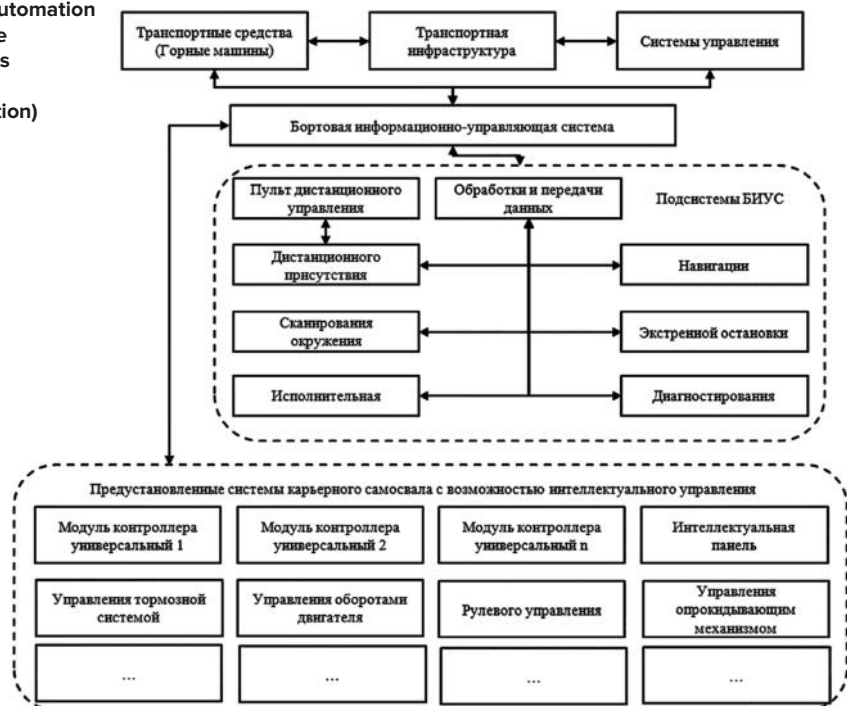


Рис. 2
 Функциональная архитектура интегрированных технологий высокоавтоматизированных горных машин

Fig. 2
 Functional architecture of the integrated technologies for highly automated mining machines



Рис. 3 Структурная модель оценки функциональных возможностей горных машин (в рис индексы строчными буквами)

Fig. 3 A structural model for assessing the functional features of mining machines

Для определения уровня автоматизации сформирована структурная модель оценки функциональных возможностей горных машин по перевозке ископаемых и грузов, которая представляет собой совокупность эксплуатационных показателей горной машины (рис. 3).

С целью определения оцениваемых параметров методом экспертных оценок определена значимость Z_i оцениваемых параметров по десятибалльной шкале из интервала $Z_i \in \{1..10\}$.

Определены вопросы в соответствии с перечисленными показателями функциональных возможностей горных машин, а именно:

- значимость для горных машин в целом автоматизированных систем управления, из которых сформирована бортовая информационно-управляющая система;
- значимость функциональных возможностей горных машин грузоподъемностью от 10 до 25 т;
- значимость функциональных возможностей горных машин грузоподъемностью от 25 до 60 т;
- значимость функциональных возможностей горных машин грузоподъемностью от 10 до 25 т;
- значимость функциональных возможностей горных машин грузоподъемностью от 25 до 60 т.

Результаты экспертного опроса анализируются с помощью методик рангового анализа теории техноценоза – рангового параметрического распределения по коэффициентам весомости АСУ ГМ (табл. 1).

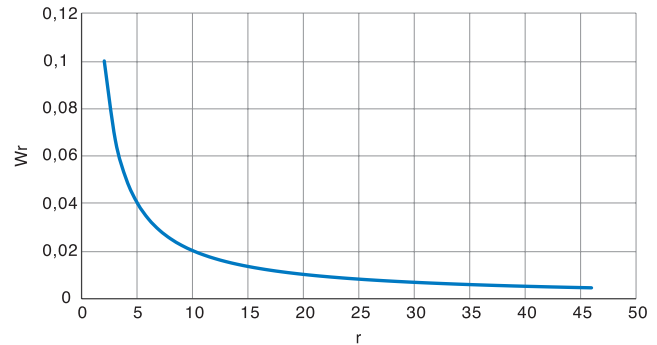


Рис. 4 График рангового параметрического распределения автоматизированной системы управления горных машин

Fig. 4 A chart of the rank parametric distribution of the automated control system of mining machines

H-распределение имеет гиперболический вид:

$$W_r = \frac{W_1}{r^\beta},$$

где W_r – коэффициент весомости АСУ горных машин с рангом r ; W_1 – коэффициент весомости АСУ горных машин с рангом $r = 1$ (максимальный коэффициент весомости системы); r – ранг АСУ горных машин; β – ранговый коэффициент, характеризующий форму кривой распределения (принят за 0,6 при обработке результатов экспертной оценки).

По результатам рангового параметрического анализа техноценоза получены весовые коэффициенты всех АСУ ГМ:

$$\sum_{i=1}^n V_{esu_i} = 1.$$

График рангового параметрического распределения АСУ горных машин в соответствии с методом техноценоза представлен на рис. 4.

Одними из основных функциональных возможностей горной машины, которые могут быть оценены количественными показателями, являются подвижность, проходимость и безопасность движения [14–16]. Коэффициенты эффективности этих эксплуатационных свойств и были выбраны в качестве эталонных. Тактико-технические характеристики по эксплуатационным свойствам могут быть улучшены на 30–50%. В исследовании выбрана граница 30% и погрешность оценивания – 10% с учетом конструктивных особенностей объекта исследования. При этом повышение эксплуатационных показателей при внедрении интеграционных систем в состав ГМ – 5%. Суммарная

Таблица 1 Математическое описание H-распределения

Table 1 A mathematical description of the H-distribution

Распределение	Ось абсцисс	Ось ординат	Форма записи
Видовое	Число единиц в системе x	Число единиц в системе с одинаковым числом	$\Omega(x) = \frac{A}{x^{(1+a)}}$
Рангово-видовое	Ранг R	Число единиц в математическом распределении системы	$\Lambda(R) = \frac{B}{R^\beta}$
Рангово-параметрическое	Ранг r	Значение параметра	$W(r) = \frac{A}{r^{(1+a)}}$

погрешность проводимых измерений – 15%, то есть 0,5 от выбранной границы исследования. Следовательно, сумма весовых коэффициентов интеграционных технологий ГМ:

$$15\% \geq K_{sc} * R \geq 30\%,$$

где K_{sc} – коэффициент повышения эксплуатационных показателей ГМ; R – сумма весовых коэффициентов АСУ.

Сумма коэффициентов весомости АСУ ГМ должна быть постоянным показателем α и иметь ограничения:

$$\left(\alpha + \sum_{i=1}^n \frac{A}{r_i^\beta} \right) \geq 0,5,$$

где n – количество АСУ; A – весовой коэффициент АСУ с рангом «1».

Математическая модель обоснования количества АСУ для формирования БИУС горных машин:

$$R = \left(\alpha + \sum_{i=1}^n \frac{A}{r_i^\beta} \right) \geq 0,5.$$

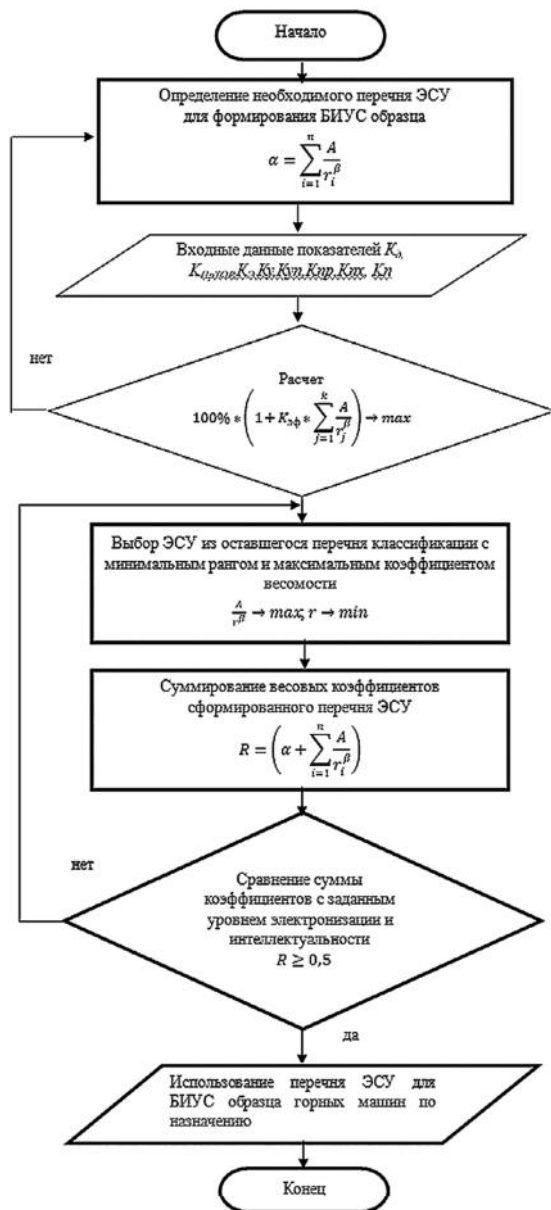


Рис. 5
 Алгоритм определения уровня автоматизации горных машин

Fig. 5
 An algorithm to determine the automation level of mining machines

Использование предложенной математической модели позволит оценивать уровень интеллектуальности ГМ и корректировать номенклатуру АСУ для различных образцов ГМ.

В связи с техническими и эксплуатационными характеристиками горной машины к ГМ необходимо выдвигать более высокие требования [17–19]. Необходима унификация используемого оборудования, датчиков и протоколов для обеспечения максимальной совместимости между разными горными машинами и элементами инфраструктуры с целью их полноценного информационного взаимодействия. Обоснованное внедрение определенного состава интеллектуальных технологий позволит существенно повысить эффективность использования горных машин и снизить простой транспорта за счет предупреждения отказов посредством непрерывного мониторинга технического состояния систем и выявления наиболее корректных режимов работы каждой системы горных машин (рис. 5) [20; 21].

Обсуждение

В качестве модели горнотранспортного комплекса разработана имитация карьера, в систему которой горные машины поступают из 5 точек (рис. 6), случайность распределения ГМ – 30%, обновление данных модели взято за 15 с.

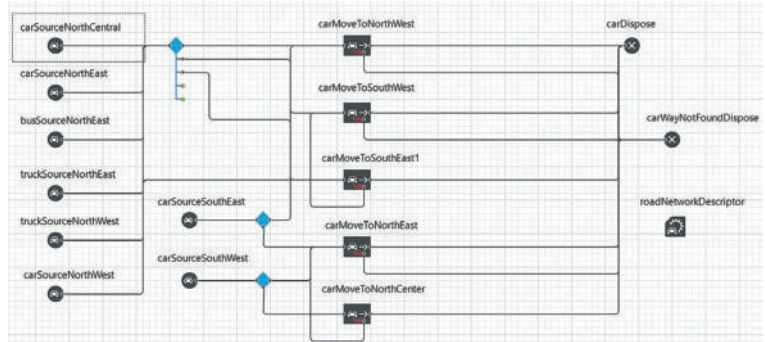


Рис. 6
 Имитационная модель движения карьерных самосвалов

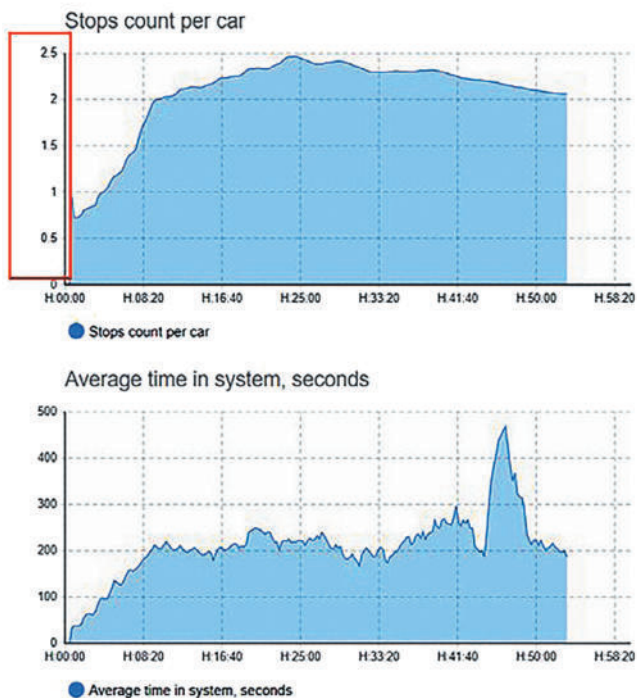
Fig. 6
 A simulation model of the mining dump trucks movement

Для подтверждения полученных данных были добавлены аналитические графики состояния системы, а именно:

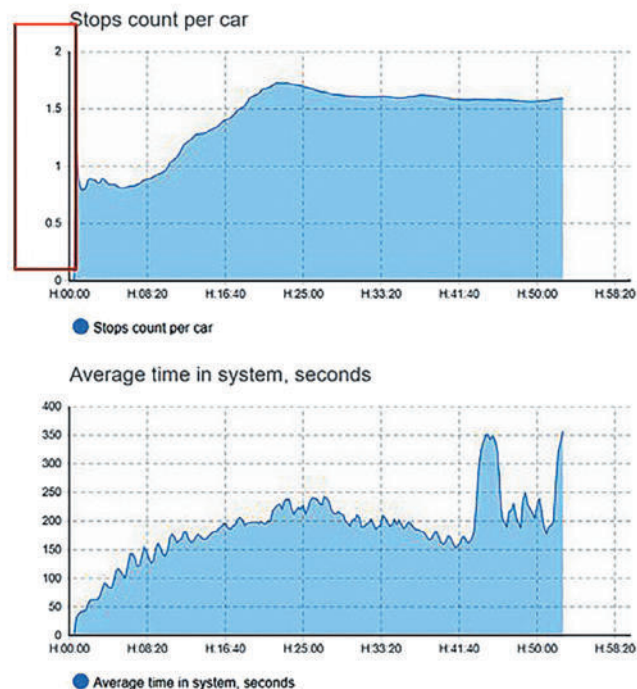
- среднее время нахождения ГМ в системе (от появления до выхода ГМ);
- среднее число остановок в системе.

Корректировка исходных данных для ГМ при внедрении интеграционных технологий и подключение к объектам инфраструктуры показали существенное снижение торможений ГМ и их среднее нахождение в системе. Число остановок транспортных средств снизилось с 2,5 до 1,5, максимальное время нахождения в системе – с 480 с до 350 (рис. 7).

Повышение эффективности использования ГМ обусловлено возможностью транспортного средства взаимодействовать с объектами транспортной инфраструктуры, начало движения которых происходит при получении ГМ данных с элементов системы V2X.



До внедрения ВАТС



При внедрении ВАТС

Рис. 7
 Результаты имитационного моделирования движения карьерных самосвалов, имеющих разный уровень автоматизации:
 а – число остановок самосвалов в модели;
 б – среднее время нахождения самосвалов в системе

Fig. 7
 Results of simulation modeling of the movement of dump trucks with different automation levels:
 а - the number of dump trucks stops within the model;
 б - the average time of dump trucks within the system

Выводы

Предложена структурная модель оценки функциональных возможностей горных машин и схема построения функциональной архитектуры средств автоматизации БИУС горной машины. Предложен график рангового параметрического распределения автоматизированных систем управления горных машин, на основании которого разработан алгоритм определения уровня автоматизации

горной машины. Проведено имитационное моделирование движения карьерных самосвалов с построением двух моделей – до внедрения интеграционных технологий в состав горной машины и при внедрении интеллектуальных систем, показывающее повышение эффективности использования горной машины за счет снижения количества торможений объектов в системе.

Вклад авторов

- Р.Н. Сафиуллин* – разработка методологии исследования.
- А.Ф. Клебанов* – анализ статистических данных предприятия.
- М.С. Присяжнюк* – анализ статистических данных предприятия.
- Б.С. Иванов* – применение статистических методов для анализа данных.
- В.А. Ефремова* – разработка имитационной модели.

Authors' contribution

- R.N. Safiullin* – development of the research methodology.
- A.F. Klebanov* – analysis of statistical data of the company.
- M.S. Prysiazhniuk* – analysis of statistical data of the company.
- B.S. Ivanov* – application of statistical methods for data analysis.
- V.A. Efremova* – development of the simulation model.

Список литературы / References

1. Tian H., Safiullin R.N., Safiullin R.R. Integral evaluation of implementation efficiency of automated hardware complex for vehicle traffic control. *International Journal of Engineering*. 2024;37(8):1534–1546. <https://doi.org/10.5829/IJE.2024.37.08B.07>
2. Safiullin R., Tian H. Method of effective implementation of intelligent hardware complexes in the management of passenger transportation processes within urban agglomerations. *The Open Transportation Journal*. 2024;18(1):e26671212272101. <https://doi.org/10.2174/0126671212272101231128060918>
3. Nazarychev A.N., Novoselov E.M., Polkoshnikov D.A., Strakhov A.S., Skorobogatov A.A., Pugachev A.A. Experimental determination of diagnostic signs of damage to the rotor windings of high-voltage power plant motors in startup mode. *Russian Journal of Nondestructive Testing*. 2020;56(5):408–416. <https://doi.org/10.1134/S1061830920050071>
4. Litvinenko V., Bowbrick I., Naumov I., Zaitseva Z. Global guidelines and requirements for professional competencies of natural resource extraction engineers: Implications for ESG principles and sustainable development goals. *Journal of Cleaner Production*. 2022;338:130530. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.130530>
5. nova L.A., Dem'yanov D.N., Kapitonov A.A. Smart information system for generating design constraints in the auto industry. *Russian Engineering Research*. 2020;40(12):1034–1038. <https://doi.org/10.3103/S1068798X20120199>
6. Vasilev B.Yu., Nguyen T.H. Stochastic pulse-width modulation and modification of direct torque control based on a three-level neutral-point clamped inverter. *Energies*. 2024;17(23):6017. <https://doi.org/10.3390/en17236017>
7. Botyan E.Y., Lavrenko S.A., Pushkarev A.E. Evaluation of complicated mining exploitation conditions influence on service life of open pit trucks suspensions with remote monitoring systems. *International Journal of Engineering*. 2024;37(11):2268–2275. <https://doi.org/10.5829/ije.2024.37.11b.12>
8. Сержан С.Л., Скребнев В.И., Малеванный Д.В. Исследование влияния шероховатости стальных и полимерных труб на потери напора при гидротранспорте хвостовой пульпы. *Обогащение руд*. 2023;(4):41–49. <https://doi.org/10.17580/or.2023.04.08>
Serzhan S.L., Skrebnev V.I., Malevanny D.V. Study of the effects of steel and polymer pipe roughness on the pressure loss in tailings slurry hydrotransport. *Obogashchenie Rud*. 2023;(4):41–49. (In Russ.) <https://doi.org/10.17580/or.2023.04.08>
9. Лапинскас А.А. Влияние горной ренты на эффективность использования природного потенциала: парадокс изобилия и его российская специфика. *Записки Горного института*. 2023;259:79–94. <https://doi.org/10.31897/PMI.2023.13>
Lapinskas A.A. Influence of mining rent on the efficiency of using natural potential: the paradox of plenty and its Russian specific. *Journal of Mining Institute*. 2023;259:79–94. <https://doi.org/10.31897/PMI.2023.13>
10. Матрохина К.В., Трофимец В.Я., Мазиков Е.Б., Маховиков А.Б., Хайкин М.М. Развитие методологии сценарного анализа инвестиционных проектов предприятий минерально-сырьевого комплекса. *Записки Горного института*. 2023;259:112–124. <https://doi.org/10.31897/PMI.2023.3>
Matrokhina K.V., Trofimets V.Y., Mazakov E.B., Makhovikov A.B., Khaykin M.M. Development of methodology for scenario analysis of investment projects of enterprises of the mineral resource complex. *Journal of Mining Institute*. 2023;259:112–124. <https://doi.org/10.31897/PMI.2023.3>
11. Земенкова М.Ю., Чижевская Е.Л., Земенков Ю.Д. Интеллектуальный мониторинг состояний объектов трубопроводного транспорта углеводородов с применением нейросетевых технологий. *Записки Горного института*. 2022;258:933–944. <https://doi.org/10.31897/PMI.2022.105>
Zemenkova M.Y., Chizhevskaya E.L., Zemenkov Y.D. Intelligent monitoring of the condition of hydrocarbon pipeline transport facilities using neural network technologies. *Journal of Mining Institute*. 2022;258:933–944. <https://doi.org/10.31897/PMI.2022.105>
12. Жуковский Ю.Л., Сусликов П.К. Оценка потенциального эффекта применения технологии управления спросом на горных предприятиях. *Устойчивое развитие горных территорий*. 2024;16(3):895–908. <https://doi.org/10.21177/1998-4502-2024-16-3-895-908>
Zhukovsky Yu.L., Suslikov P.K. Assessment of the potential effect of applying demand management technology at mining enterprises. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2024;16(3):895–908. <https://doi.org/10.21177/1998-4502-2024-16-3-895-908>
13. Канонин Ю.Н. Проблемы безопасности при эксплуатации высокоавтоматизированных транспортных средств. *Известия Петербургского университета путей сообщения*. 2024;21(1):76–84. <https://doi.org/10.20295/1815-588X-2024-01-76-84>
Kanonin Yu.N. Safety issues when operating highly automated vehicles. *Proceedings of Petersburg Transport University*. 2024;21(1):76–84. (In Russ.) <https://doi.org/10.20295/1815-588X-2024-01-76-84>
14. Владимиров Д.Я., Клебанов А.Ф., Кузнецов И.В. Цифровая трансформация открытых горных работ и новое поколение карьерной техники. *Горная промышленность*. 2020;(6):10–12. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2020-6-10-12>
Vladimirov D.Ya., Klebanov A.F., Kuznetsov I.V. Digital transformation of surface mining and new generation of open-pit equipment. *Russian Mining Industry*. 2020;(6):10–12. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2020-6-10-12>
15. Бокарев А.И., Дианов В.А., Карташов А.Б., Арутюнян Г.А., Дубинкин Д.М., Пашков Д.А. Типовые циклы эксплуатации карьерных самосвалов грузоподъемностью 220 тонн. *Вестник Кузбасского государственного технического университета*. 2024;(5):98–107. <https://doi.org/10.26730/1999-4125-2024-5-98-107>
Bokarev A.I., Dianov V.A., Kartashov A.B., Arutyunyan G.A., Dubinkin D.M., Pashkov D.A. Typical operating cycles of mining dump trucks with a load capacity of 220 tons. *Bulletin of the Kuzbass State Technical University*. 2024;(5):98–107. (In Russ.) <https://doi.org/10.26730/1999-4125-2024-5-98-107>

16. Сыркин И.С., Пашков Д.А., Дубинкин С.Д. Тенденции развития создания интеллектуальной собственности в области разработки цифровых систем диспетчеризации угольного карьера. *Интеллектуальные технологии на транспорте*. 2023;(4):47–52. <https://doi.org/10.24412/2413-2527-2023-436-47-52>
 Syrkin I.S., Pashkov D.A., Dubinkin S.D. Trends in the development of intellectual property creation in the field of development of digital coal pit dispatch systems. *Intellectual Technologies on Transport*. 2023;(4):47–52. (In Russ.) <https://doi.org/10.24412/2413-2527-2023-436-47-52>
17. Воронов Ю.Е., Воронов А.Ю., Дубинкин Д.М., Максимова О.С. Диспетчеризация в карьерных экскаваторно-автомобильных комплексах с беспилотным транспортом. *Уголь*. 2023;(9):75–83. <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2023-9-75-83>
 Voronov Yu.E., Voronov A.Yu., Dubinkin D.M., Maksimova O.S. Dispatching in truck-shovel systems with unmanned transport at open-pit mines. *Ugol'*. 2023;(9):75–83. (In Russ.) <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2023-9-75-83>
18. Кузнецов И.С., Зиновьев В.В., Николаев П.И., Стародубов А.Н. Компьютерная система имитационного моделирования для оптимизации параметров экскаваторно-автомобильных комплексов. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2022;(6-1):304–316. https://doi.org/10.25018/0236_1493_2022_61_0_304
 Kuznetsov I.S., Sinoviev V.V., Nikolayev P.I., Starodubov A.N. Simulation modeling computer-based system for optimizing the parameters of open-pit excavator-dump truck complexes. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2022;(6-1):304–316. (In Russ.) https://doi.org/10.25018/0236_1493_2022_61_0_304
19. Клебанов А.Ф., Бондаренко А.В., Жуковский Ю.Л., Клебанов Д.А. Организация удаленных центров управления горным предприятием: стратегические предпосылки и этапы реализации. *Горная промышленность*. 2024;(4):174–183. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-4-174-183>
 Klebanov A.F., Bondarenko A.V., Zhukovsky Yu.L., Klebanov D.A. Establishing remote control centers of a mining operation: strategic prerequisites and implementation stages. *Russian Mining Industry*. 2024;(4):174–183. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-4-174-183>
20. Ромашев А.О., Николаева Н.В., Гатиатуллин Б.Л. Формирование адаптивного подхода с применением технологии машинного зрения для определения параметров осаждения продуктов обогащения. *Записки Горного института*. 2022;256:677–685. <https://doi.org/10.31897/PMI.2022.77>
 Romashev A.O., Nikolaeva N.V., Gatiatullin B.L. Adaptive approach formation using machine vision technology to determine the parameters of enrichment products deposition. *Journal of Mining Institute*. 2022;256:677–685. <https://doi.org/10.31897/PMI.2022.77>
21. Литвиненко В.С., Цветков П.С., Двойников М.В., Буслаев Г.В. Барьеры реализации водородных инициатив в контексте устойчивого развития глобальной энергетики. *Записки Горного института*. 2020;244:428–438. <https://doi.org/10.31897/PMI.2020.45>
 Litvinenko V.S., Tsvetkov P.S., Dvoynikov M.V., Buslaev G.V. Barriers to implementation of hydrogen initiatives in the context of global energy sustainable development. *Journal of Mining Institute*. 2020;244:428–438. <https://doi.org/10.31897/PMI.2020.45>

Информация об авторах

Сафиуллин Равил Нуруллович – доктор технических наук, профессор кафедры транспортно-технологических процессов и машин, Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0002-8765-6461>; e-mail: safravi@mail.ru

Клебанов Алексей Феликсович – кандидат технических наук, директор по науке и работе с образовательными учреждениями, Группа компаний «Цифра», г. Москва, Российская Федерация; e-mail: aleksey.klebanov@zyfra.com

Присяжнюк Михаил Сергеевич – Председатель Комитета Ленинградской области по транспорту, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; e-mail: transportlo@lenreg.ru

Иванов Борис Станиславович – исполнительный директор ООО «СберАвтомобильТехнологии», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; e-mail: borisiv@inbox.ru

Ефремова Виктория Александровна – аспирант кафедры транспортно-технологических процессов и машин, Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; e-mail: vikaefr99@gmail.com

Information about the authors

Ravill N. Safiullin – Dr. Sci. (Eng.), Professor, Professor of the Department of Transport and Technological Processes and Machines, Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University, Saint Petersburg, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0002-8765-6461>; e-mail: safravi@mail.ru

Aleksey F. Klebanov – Cand. Sci. (Eng.), Director for Science and Interaction with Educational Institutions, Zyfra Group, Moscow, Russian Federation; e-mail: aleksey.klebanov@zyfra.com

Michael S. Prysiashniuk – Chairperson, Transport Committee of the Leningrad Region, Saint Petersburg, Russian Federation; e-mail: transportlo@lenreg.ru

Boris S. Ivanov – Executive Director, SberAutoTech, Saint Petersburg, Russian Federation; e-mail: borisiv@inbox.ru

Viktoriya A. Efremova – Postgraduate Student of the Department of Transport and Technological Processes and Machines, Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University, Saint Petersburg, Russian Federation; e-mail: vikaefr99@gmail.com

Article info

Received: 05.01.2025

Revised: 04.02.2025

Accepted: 05.02.2025

Информация о статье

Поступила в редакцию: 05.01.2025

Поступила после рецензирования: 04.02.2025

Принята к публикации: 05.02.2025