

# ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТРАНСПОРТНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ АВТОНОМНОЙ ТРАНСПОРТИРОВКИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Н. Д. Ерещенко<sup>1</sup>, С. Н. Андрияшин<sup>1</sup>, А. Н. Борзенков<sup>1</sup>, М. В. Рожкова<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск, 630073, Россия,  
e-mail: ereshhenko.2017@stud.nstu.ru

**Аннотация:** Добыча полезных ископаемых сопряжена с экологическими, социальными и экономическими проблемами, одной из причин которых является сложность обеспечения логистики и контроля транспортировки сырья. Искусственный интеллект может ускорить этот процесс, улучшая экономику горнодобывающего сектора за счёт повышения производительности, оптимизации эксплуатационных расходов и максимизации прибыльности. Автоматизированные системы и алгоритмы для оптимизации процессов добычи полезных ископаемых позволяют повысить эффективность добычи и безопасность персонала горного предприятия. Однако отсутствие стандартизированных требований к внедрению таких технологий привело к многообразию рассогласованного оборудования. По этой причине ведётся активная работа над созданием стандартов для систем автоматизации, связанных с развитием интеллектуальных систем автономного горного транспорта. Эти системы позволят автоматизировать процесс транспортировки грузов и людей на горнодобывающих предприятиях. В работе исследуются пути внедрения данной технологии. В процессе развития она будет совершенствоваться и находить все более широкое применение. Была сделана попытка проанализировать существующие примеры внедрения интеллектуальных транспортных средств, оценить их успешность, а также рассмотреть варианты топологий построения таких систем.

**Ключевые слова:** интеллектуальные системы, горная добыча, автономный транспорт, стандарты интеллектуальных систем, автономная работа, дистанционное управление, промышленная техника, системы управления.

**Для цитирования:** Ерещенко Н. Д., Андрияшин С. Н., Борзенков А. Н., Рожкова М. В. Интеллектуальные транспортные средства для автономной транспортировки полезных ископаемых // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2024. – № 11-1. – С. 239–250. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2024\_111\_0\_239.

## Standards creation for smart mining: intelligent transport for autonomous mineral transport

N. D. Ereshchenko<sup>1</sup>, S. N. Andriyashin<sup>1</sup>, A. N. Borzenkov<sup>1</sup>, M. V. Rozhkova<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Novosibirsk State Technical University, 20 Karl Marx Ave., 630073, Novosibirsk, Russia,  
e-mail: ereshhenko.2017@stud.nstu.ru

**Abstract:** In recent years, there has been a trend in the mining industry towards an increase in the popularity of “smart” mining, which is capable of operating autonomously. This is due

to several factors, including safety concerns and the high average age of personnel at mining enterprises. Smart mining is a technology that uses automated systems and algorithms to optimize mining processes. It allows you to increase the efficiency of production and the safety of working personnel. However, the lack of standardized requirements for smart mining has led to a variety of misaligned equipment. For this reason, active work is underway to create standards for automation systems. In addition, work is underway to develop intelligent systems for autonomous mining transport. These systems will automate the process of transporting goods and people at mining enterprises. Ways of introducing this technology to mining sites are also being investigated. In the process of developing this technology, it will be improved and increasingly implemented in various aspects of the mining industry. The introduction of smart mining is expected to lead to significant improvements in the efficiency and safety of the mining industry. This will allow businesses to reduce costs, increase productivity and provide safer working conditions for their employees.

**Key words:** intelligent systems, mining, autonomous transport, standards of intelligent systems, autonomous operation, remote control, industrial equipment, control systems.

**For citation:** Ereshchenko N. D., Andriyashin S. N., Borzenkov A. N., Rozhkova M. V. Standards creation for smart mining: intelligent transport for autonomous mineral transport. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2024;(11-1):239–250. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2024\_111\_0\_239.

---

## 1. Введение

Добыча полезных ископаемых сопряжена с экологическими, социальными и экономическими проблемами. Одной из причин таких проблем является сложность обеспечения логистики и контроля транспортировки сырья.

Приложения с поддержкой искусственного интеллекта (ИИ) могут ускорить этот процесс. ИИ уже улучшает экономику горнодобывающего сектора за счёт повышения производительности, оптимизации эксплуатационных расходов и максимизации прибыльности. Потенциальное использование ИИ выходит далеко за обозначенные рамки. Он может обеспечивать безопасность работников, управлять состоянием окружающей среды и помогать в государственном мониторинге. Однако этические аспекты использования инструментов на основе ИИ в этом контексте до сих пор в значительной степени упускались из виду.

Модели, обученные на городских дорогах, могут иметь низкую эффективность при использовании на карьерных участках. Разнообразие дорожных

условий, плохое дорожное покрытие и сложные погодные условия представляют серьезные препятствия для использования промышленной техники на таких участках. Но необходимость уменьшить производственные риски, улучшить условия труда и увеличить прибыль, а также стремление к экологически устойчивому развитию побуждают использовать искусственный интеллект для выполнения различных задач.

Интеллектуальные системы добычи позволяют полностью автоматизировать горные работы благодаря использованию различных технологий, таких как ИИ, интернет вещей (IoT), облачные вычисления, анализ больших данных, робототехника и другие. Интеллектуальные системы добычи появились в нескольких горнодобывающих районах Китая и их цель – полностью автоматизировать горные работы как в подземных условиях, так и на карьерах.

## 2. Методы автоматизации работы горного транспорта

В начале XXI века Фей-Юэ Ванг предложил концепцию параллельных

систем для создания интеллектуальных решений для горной промышленности. Такие системы [1] предназначены для решения сложных задач путём моделирования с использованием цифровых двойников, прогнозирования и проверки результатов через вычислительные эксперименты, а также для контроля и управления через взаимодействие между реальными и виртуальными системами. В рамках интеллектуальных или параллельных систем для горной промышленности обычно выделяют 5 типов транспортных средств [2]: управляемые человеком, дистанционно управляемые, подключённые, автономные и параллельные (рис. 1). Эти типы транспортных средств могут одновременно использоваться в карьерах и взаимодействовать друг с другом. Как видно из рис. 1, работой каждого транспортного средства управляет система удаленного управления. В пункте управления также находится платформа параллельного моделирования, которая создает цифровой двойник процесса взаимодействия автономно работающей

транспортной техники. Эта система просчитывает взаимодействие пилотируемой и беспилотной техники, распределяет загрузку и следит за общим состоянием и степенью использования автопарка. Связь с техникой и различной аппаратурой происходит через спутниковое интернет-соединение. Также существуют ключевые технологии, такие, как кооперация нескольких транспортных средств [3, 4], связь в карьерах, моделирование параллельной добычи, интеллектуальная транспортная инфраструктура и дистанционное управление.

Для модернизации крупногабаритных грузовиков на автономные транспортные платформы необходимо установить несколько датчиков, таких как LiDAR, камеры и радары. Цель состоит в том, чтобы грузовики могли самостоятельно определять свое местоположение, воспринимать и отслеживать цели. Автономное управление парком включает в себя взаимодействие между карьерными грузовиками, экскаваторами и вспомогательными транспортными средствами [5, 6].



Рис. 1. Параллельные операционные системы  
Fig. 1. Parallel operating systems

Совместная работа карьерных самосвалов может рассматриваться как проблема комбинированного планирования [7, 8]. Совместная работа требует учета не только состояния отдельного транспортного средства, но и взаимовлияний транспортных единиц. Это позволяет определить предпочтительные инструкции путем корректировки маршрутов в соответствии с требованиями совместной работы [9, 10].

Система Collaborative Loading Management устанавливает связь между отдельным горным оборудованием и центром управления, а также связь между двумя соседними горными машинами. Чтобы справиться с проблемами в зоне добычи, система применяет разнообразные методы коммуникации. Более того, она увеличивает частотный диапазон и ширину полосы пропускания, что повышает надёжность системы связи и улучшает её устойчивость к помехам [11].

Применение платформы параллельного моделирования позволяет существенно повысить качество восприятия данных за счёт детализации информации в виртуальных сценах при помощи метода цифровых двойников. Это может быть ключевым элементом для подготовки автономного вождения в условиях высокого риска и различных погодных условиях на открытых карьерах, а также обеспечить важную основу для сквозного вождения в карьерах [12].

Интеллектуальная дорожная кооперативная платформа объединяет данные, полученные как от дороги, так и от автомобиля. Эта методика помогает эффективно расширить область обзора, улучшить стабильность и надёжность системы, разрешить проблему обнаружения объектов за горизонтом [13].

Как и в случае с внедрением ИИ в различных других областях, заинтере-

сованные стороны, такие как работники, руководители, научные сообщества и исследователи, по-прежнему считают, что эти инструменты могут негативно повлиять на доступность рабочих мест, социальные нормы и отношения между работниками. Это связано с тревогой, что людей на производстве заменят роботы, а люди подвергнутся слезке, возникнет опасность потери конфиденциальности данных и возможности самостоятельно принимать решения. Автоматизированные транспортные средства или системы мониторинга действительно могут заменить водителей или операторов. Тем не менее, потенциальные затраты на разработку и внедрение качественных алгоритмов достаточно высоки. Компромиссными, смягчающими негативные последствия инноваций могут стать системы, которые помогают людям, а не заменяют их, или системы, основанные на принципе «человек в цикле».

Кроме того, если инструменты наблюдения или распознавания лиц используются для мониторинга воздействия на окружающую среду, обеспечения безопасности работников или периметров горнодобывающих площадок, есть высокая вероятность, что эти же средства могут быть использованы в личных корыстных целях. Поэтому эти системы наблюдения разрабатываются и внедряются с учетом параметров сохранения неприкосновенности частной жизни и прав человека [14, 15].

В целом, необходимо учитывать компромисс между повышением эффективности и безопасности и потерей автономии и конфиденциальности работников/сообщества, поскольку на горнодобывающих предприятиях все чаще используются инструменты с поддержкой ИИ.

По мнению авторов, система удаленного управления является ключе-

вым компонентом интеллектуальной добычи. Однако текущие методы обеспечения безопасности преимущественно основаны на человеческом или полуавтоматическом контроле, что делает их неэффективными в краткосрочной перспективе. Увеличение размеров карьеров и интенсивности производственных операций увеличивает риск аварий. Поэтому необходимо сочетать принятие решений человеком с автоматизированным производством для обеспечения безопасности, что в свою очередь должно быть унифицировано и стандартизировано.

### **3. Разработка стандартов для автономного горного транспорта**

В настоящее время на карьерах внедрено несколько интеллектуальных продуктов и систем. С быстрым развитием технологий разработка стандартов стала приоритетной задачей, поэтому необходимо постоянно совершенствовать дизайн верхнего уровня системы стандартов для интеллектуальных карьеров и создавать рамки для каждого раздела [16, 17].

Интеллектуальные продукты и их системы на карьерах помогают повысить безопасность, эффективность и экологичность добычи полезных ископаемых. Они включают в себя различные датчики, сенсоры, контроллеры, программное обеспечение и другие компоненты, которые позволяют автоматизировать процессы, собирать и анализировать данные, а также принимать решения на основе полученной информации.

Разработка стандартов для интеллектуальных карьеров является важной задачей, поскольку она позволяет обеспечить совместимость и безопасность использования различных продуктов и систем. Стандарты также способствуют развитию инноваций,

конкуренции и сотрудничества между производителями, поставщиками и пользователями интеллектуальных решений для карьеров [18].

После анализа существующих стандартов предложена концепция совершенствования дизайна верхнего уровня системы стандартов, включающая определение общих принципов, требований и рекомендаций, которые в свою очередь должны соблюдаться при разработке и внедрении интеллектуальных продуктов и систем на карьерах. На этапе разработки важное значение имеет выбор соответствующих технологий, методов и подходов, а также учёт специфических условий и ограничений, характерных для карьеров [19].

Создание рамок для каждого раздела означает разработку детальных спецификаций, руководств и рекомендаций, которые будут использоваться при проектировании, тестировании, сертификации и эксплуатации интеллектуальных продуктов и систем на карьерах [20]. Это позволит обеспечить высокое качество, надёжность и безопасность использования интеллектуальных продуктов и систем, а также их соответствие установленным стандартам и требованиям.

Важно подчеркнуть, что стандарты следует адаптировать к конкретным условиям и ограничениям, характерным для карьеров (высокая влажность, пыль, вибрация, экстремальные температуры и другие условия, которые могут повлиять на работу интеллектуальных систем). Кроме того, стандарты организации производства в горном деле являются средством повышения безопасности труда горнорабочих. Интеллектуальные системы могут помочь предотвратить аварии, контролируя параметры работы оборудования и предупреждая о возможных опасностях [21].

Также по предложенной авторами концепции энерго- и ресурсосбережения стандарты способствуют снижению воздействия на окружающую среду. Интеллектуальные системы могут оптимизировать процессы добычи, уменьшая потребление энергии и ресурсов, а также минимизируя выбросы вредных веществ. Таким образом, совершенствование дизайна верхнего уровня системы стандартов и создание рамок для каждого раздела являются важными шагами на пути к созданию безопасных, эффективных и экологически чистых карьеров. На рис. 2. представлена техническая спецификация интеллектуальных транспортных систем в карьерах, а на рис. 3 представлена детальная спецификация по безопасности производства.

Многочисленные примеры успешного внедрения интеллектуальных систем можно найти в Китае. Так, угольный карьер National Energy Group (Жунгээр), расположенный в Ордосе

(Внутренняя Монголия, Китай), является одним из крупнейших карьеров, обеспечивающих энергетическую безопасность страны. На нем работают сотни автономных грузовиков весом 290 тонн. В карьере Мааньшань используется интеллектуальная система «Югун», благодаря которой автономные грузовики взаимодействуют с управляемыми на одном участке. Эта система обеспечивает точное позиционирование грузовиков в пространстве, что позволяет им безопасно перемещаться по карьере и выполнять свои задачи. В Янцюане запустили первый демонстрационный проект в цементной промышленности, где реализовали полностью электрифицированное, цифровое, интеллектуальное производство. Несколько автономных грузовиков успешно прошли испытания на цинково-индиевом руднике в Вэньшане, став первыми полностью автономными грузовиками, которые используют на карьерах по добыче цветных металлов. Их впервые испы-

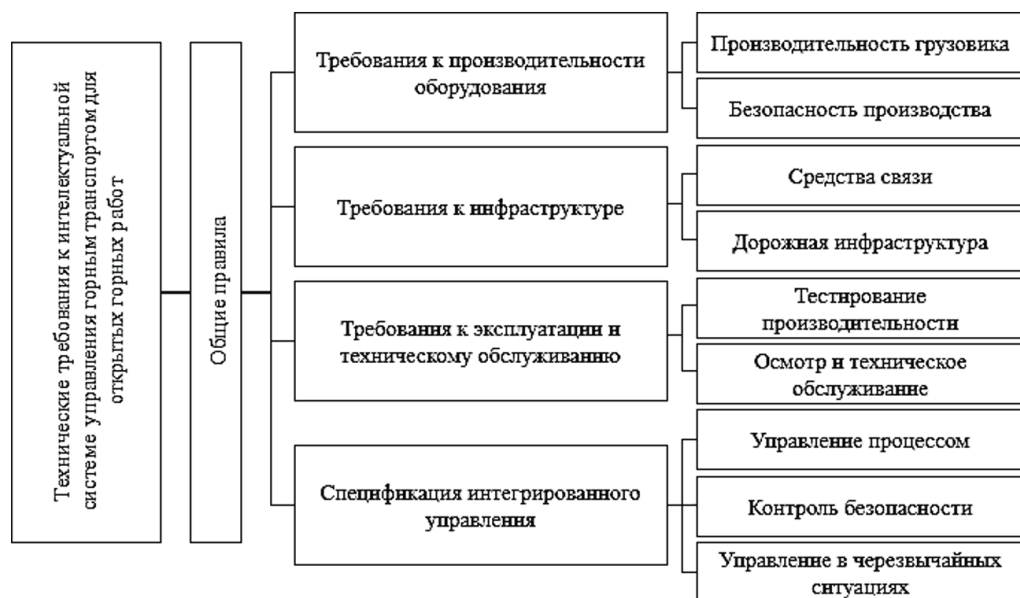


Рис. 2. Техническая спецификация интеллектуальных транспортных систем в карьерах  
 Fig. 2. Technical Specification of Intelligent Transport Systems in Quarries



Рис. 3. Детальная спецификация по безопасности производства  
 Fig. 3. Detailed specification on production safety

тали в экстремальных климатических условиях при температуре ниже  $-40^{\circ}\text{C}$ . Также впервые применили независимую сеть 5G SA [22]. Для внедрения этих инноваций было необходимо привести всю структуру карьера в соответствие требованиям, представленным на рис. 2. Это было необходимо для обеспечения корректной работы автономной техники и безопасности персонала. Более подробные детали по безопасности производства приведены на рис. 3, а спецификация может быть использована в качестве руководства для всей системы интеллектуального транспорта, как показано на рис. 4.

После анализа процесса формирования системы контроля работы промышленной техники было предложено классифицировать составляющие следующим образом:

**Часть 1: Общие правила.** Стандарт направлен на унификацию общих

технических требований и особенностей управления интеллектуальными транспортными системами в карьерах. Он также определяет структуру и взаимосвязь частей документа.

**Часть 2: Параметры грузовых автомобилей.** Стандарт направлен на регламентирование технических норм для основных и автономных свойств «умных» грузовиков.

**Часть 3: Исследование рабочих параметров,** направленное на унификацию компонентов, методик и критериев оценки базовых и автономных рабочих параметров интеллектуальных грузовых транспортных средств.

**Часть 4: Безопасность производства.** Повышение уровня безопасности производственных процессов достигается через стандартизацию технических норм и требований к безопасности систем управления в промышленности, включая автономные транспортные

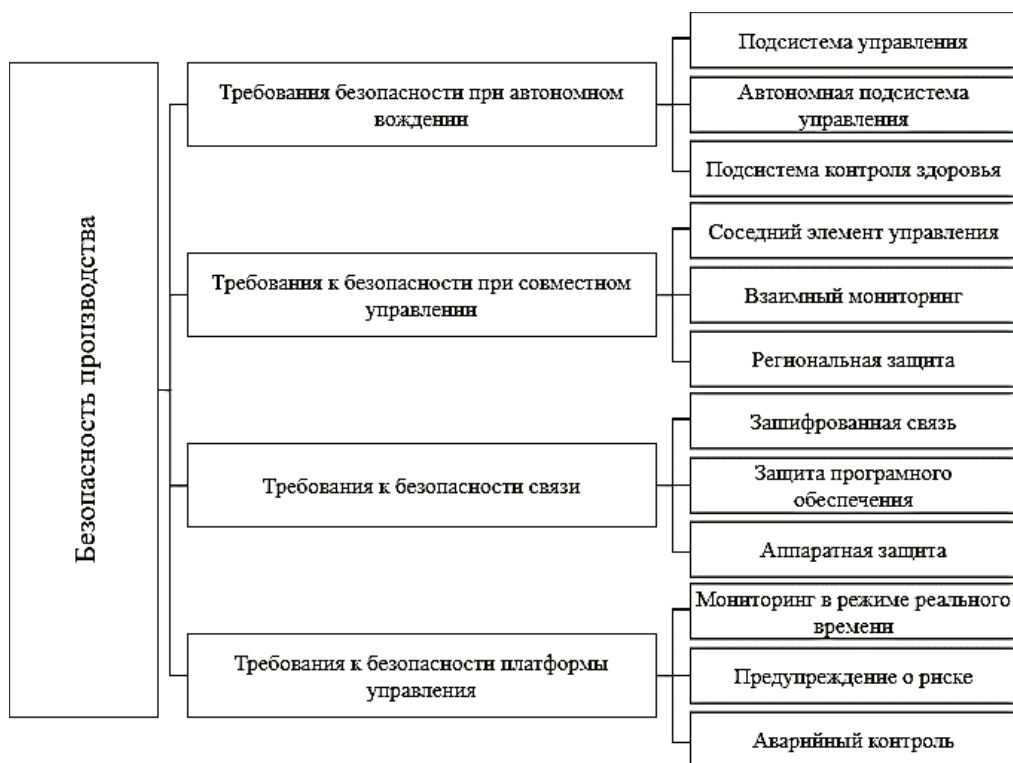


Рис. 4. Структура интеллектуальной транспортной системы.  
 Fig. 4. Structure of the Intelligent Transport System.

средства, интеллектуальные транспортные системы и технологии совместного управления операциями.

**Часть 5: Коммуникационные технологии**, используемые в интеллектуальных транспортных системах на открытых разработках, направлены на оптимизацию технических стандартов для устройств связи (аппаратное обеспечение, программное обеспечение, функционал и производительность).

**Часть 6: Дорожное хозяйство**, управление дорожной инфраструктурой сосредоточено на установлении технических норм для дорог, которые охватывают как базовые характеристики, так и специфику использования и обслуживания.

**Часть 7: Контроль и сервис**, направленные на регламентирование

нормативов проверки и поддержания работоспособности оборудования и программного обеспечения интеллектуальных транспортных систем.

**Часть 8: Управление эксплуатацией**, направлено на установление технических стандартов для совместного управления, включая использование интеллектуальной платформы для управления транспортом и требования к управлению автономными грузовыми машинами в карьерах.

**Часть 9: Управление безопасностью**, сосредоточено на регулировании подходов к обеспечению безопасности персонала, техники и окружающей среды в рамках интеллектуальных транспортных систем на открытых разработках.

**Часть 10: Управление чрезвычайными ситуациями (ЧС)**, направлено



на разработку стандартных методик реагирования на ЧС, включая классификацию ЧС, подготовку к ним, их мониторинг и предотвращение, реагирование на ЧС и устранение последствий с помощью интеллектуальных транспортных систем.

#### 4. Заключение

Интеллектуализация горной промышленности имеет ключевое значение для снижения рисков, повышения эффективности и достижения экологически устойчивого развития. На сегодняшний день подходы интеллектуальной добычи активно применяются в различных странах.

Однако для дальнейшего развития этой области крайне важно установить стандарты планирования и развития. Они должны охватывать широкий спектр аспектов, связанных с исполь-

зованием автономных транспортных средств в карьерах. Они включают в себя требования к конструкции, безопасности, управлению и эксплуатации транспортных систем.

Создание и применение этих стандартов сделает работу на открытых разработках безопасной и эффективной, что в свою очередь, поможет уменьшить риски, увеличить производительность и достичь устойчивого развития в горнодобывающей промышленности. Стандарты технической спецификации интеллектуальных транспортных систем являются важным шагом вперёд в развитии интеллектуальной горной промышленности. Они создают основу для дальнейшего совершенствования технологий и методов добычи полезных ископаемых, а также способствуют внедрению инноваций в этой области.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Hazrathosseini A., Afrapoli A. M.* The advent of digital twins in surface mining: Its time has finally arrived // *Resources Policy*. — 2023. — Vol. 80. — Pp. 103–155. DOI: 10.1016/j.resourpol.2022.103155.

2. *Arash Amirteymuri, Erfan Babai Tirkolai, Alireza Amirteymuri, Amir Haqbaz, Vladimir Simic.* A novel Parallel Heuristic Method for Designing a Sustainable Medical Waste Management System. *Journal of Cleaner Production*. 2024, No 452. DOI: 10.2139/ssrn.4530366.

3. *Tian F., Li Zh., Wang F.-Y., Li L.* Arallel learning-based steering control for autonomous driving, *IEEE Trans. Intell. Veh.*, 2022. Vol. 8, iss. 10. DOI: 10.1109/TIV.2022.3173448.

4. *Ge S., Wang F.-Y., Yang J., Ding Z., Wang X., Li Y., Teng S., Liu Z., Ai Y., & Chen L.* Making standards for smart mining operations: Intelligent vehicles for autonomous mining transportation. *IEEE Transactions on Intelligent Vehicles*, 2022. 7(3), 413–416. <https://doi.org/10.1109/tiv.2022.3197820>.

5. *Петров А. И.* Исследование рациональных параметров технологических схем вспомогательных горных работ // *Техника и технология горного дела*. — 2023. — №1(20). — С. 4–39.

6. *Chen L., Hu X., Wang G., Cao D., Li L., Wang F.-Y.* Parallel Mining Operating Systems: From Digital Twins to Smart Mining, in *Proc. IEEE Int. Conf. Digit. Twins Parallel Intell.*, 2021, pp. 469–473. DOI: 10.1109/DTPi52967.2021.9540195.

7. *Шуров В. С.* Интеллектуальная автомобильная индустрия XXI века: проблемы и перспективы / *Информационные технологии в горном деле*. — 2023. — № 3. — С. 45–50.

8. *Штарк К. С., Войтенков С. С.* (2021). Сферы применения беспилотных транспортных средств в современных условиях. Сборник материалов V Международной научно-практической конференции «Архитектурно-строительный и дорожно-транспортный комплексы: проблемы, перспективы, инновации» (Омск, 2021). — 2021. С. 260–265.

9. *Chen L.* Parallel Operating Systems for Mining: From Digital Twins to Mining Intelligence. *Acta Automatica Sinica*, 2021, vol. 47, no. 7, pp. 1633-1645.

10. *Zhang X., Guo A., Ai Y., Tian B., Chen L.* Real-Time Scheduling of Autonomous Mining Trucks via Flow Allocation-Accelerated Tabu Search, *IEEE Trans. Intell. Veh.* 2022. Vol. 7, iss. 3, pp. 466–479. DOI: 10.1109/TIV.2022.3166564.

11. *Гусев И. С.* Применение роботизированных транспортных средств для автономной транспортировки полезных ископаемых // Горнозаводское дело. — 2020. — № 5. — С. 56–63.

12. *Wang F.-Y.* Meta Vehicles in the metaverse: Moving to a new phase for intelligent vehicles and smart mobility, *IEEE Trans. Intell. Veh.* 2022. Vol. 7, no 1, pp. 1–5.

13. *Зуенко А. А., Македонов Р. А., Олейник Ю. А.* Интеллектуальный поиск точных решений задачи планирования открытых горных работ. Системы анализа и обработки данных, 2021. 3 (83), 99–114.

14. *Маркарян А. О.* Интеллектуальные алгоритмы оценки правил безопасности при ведении горных работ автономными робототехническими системами // XXVIII Международная научно-техническая конференция «Современные технологии в задачах управления, автоматике и обработки информации»: Алушта. — 2019. — С. 86–87.

15. *Рыльникова М. В., Федотенко В. С., Есина Е. Н.* Применение интеллектуальных систем и технологий при открытой разработке угольных месторождений с высокими вскрышными уступами // Горный журнал. — 2018. — № 1. — С. 32–36.

16. *Варичев А. В., Кретов С. И., Исмагилов Р. И., Бадтиева Б. П., Владимиров Д. Я.* Комплексный подход к интеллектуальным системам управления горным производством // Горная промышленность. — 2016. — № 3 (127). — С. 4–7.

17. *Трубецкой К. Н., Рыльникова М. В., Клебанов Д. А., Макеев М. А.* Научно-технические вопросы изменения организации управления открытыми горными работами с применением роботизированной карьерной техникой // Горная промышленность. — 2017. — № 5 (135). — С. 27–30.

18. *Гребенкина И. А., Гребенкина С. А., Благодир А. Л.* Текущее состояние и тенденции развития инфокоммуникационной транспортной инфраструктуры в Российской Федерации. *Транспортное право и безопасность*, 2020 (1), 126-141.

19. *Покусаев О. Н., Мишарин А. С., Куприяновский В. П., Климов А. А.* Мировой рынок автономных (беспилотных) автомобилей. *Современные информационные технологии и ИТ-образование*, 2018. 14(3), 737-747.

20. *Shishkin P. V., Efremenkov E. A., Qi M.* Development of a Mathematical Model of Operation Reliability of Mine Hoisting Plants. *Mathematics* 2024, 12, 1843. DOI: 10.3390/math12121843.

21. *Martyushev N. V., Sorokova S. N., Efremenkov E. A., Valuev D. V., Qi M.* Review Models and Methods for Determining and Predicting the Reliability of Technical Systems and Transport. *Mathematics* 2023, 11, 3317. DOI: 10.3390/math11153317.

22. *Valuev D. V., Qi M.* Mathematical Logic Model for Analysing the Controllability of Mining Equipment. *Mathematics* 2024, 12, 1660. DOI: 10.3390/math12111660.

## REFERENCES

1. Hazrathosseini A., Afrapoli A. M. The advent of digital twins in surface mining: Its time has finally arrived // *Resources Policy*. — 2023. — Vol. 80. — Pp. 103-155. DOI: 10.1016/j.resourpol.2022.103155.
2. Arash Amirteimuri, Erfan Babai Tirkolai, Alireza Amirteymuri, Amir Haqbaz, Vladimir Simic. A novel Parallel Heuristic Method for Designing a Sustainable Medical Waste Management System. *Journal of Cleaner Production*. 2024, No 452. DOI: 10.2139/ssrn.4530366.
3. Tian F., Li Zh., Wang F.-Y., Li L. Arallel learning-based steering control for autonomous driving, *IEEE Trans. Intell. Veh.*, 2022. Vol. 8, iss. 10. DOI: 10.1109/TIV.2022.3173448.
4. Ge S., Wang F.-Y., Yang J., Ding Z., Wang X., Li Y., Teng S., Liu Z., Ai Y., & Chen L. Making standards for smart mining operations: Intelligent vehicles for autonomous mining transportation. *IEEE Transactions on Intelligent Vehicles*, 2022. 7(3), 413–416. <https://doi.org/10.1109/tiv.2022.3197820>.
5. Petrov A. I. Study of Rational Parameters of Technological Schemes of Auxiliary Mining Works. — 2023. — No1(20). — P. 4–39. [In Russ].
6. Chen L., Hu X., Wang G., Cao D., Li L., Wang F.-Y. Parallel Mining Operating Systems: From Digital Twins to Smart Mining, in Proc. IEEE Int. Conf. Digit. Twins Parallel Intell., 2021, pp. 469-473. DOI: 10.1109/DTPI52967.2021.9540195.
7. Shurov V. S. Intellectual Automobile Industry of the XXI Century: Problems and Prospects. / *Information Technologies in Mining*. — 2023. — No 3. — Pp. 45–50. [In Russ].
8. Stark K. S., Voitenkov S. S. Areas of application of unmanned vehicles in modern conditions. Collection of materials of the V International Scientific and Practical Conference “Architectural, Construction and Road Transport Complexes: Problems, Prospects, Innovations” (Omsk, 2021). –2021. pp. 260 – 265.
9. Chen L. Parallel Operating Systems for Mining: From Digital Twins to Mining Intelligence. *Acta Automatica Sinica*, 2021, vol. 47, no. 7, pp. 1633-1645.
10. Zhang X., Guo A., Ai Y., Tian B., Chen L. Real-Time Scheduling of Autonomous Mining Trucks via Flow Allocation-Accelerated Tabu Search, *IEEE Trans. Intell. Veh.* 2022. Vol. 7, iss. 3, pp. 466–479. DOI: 10.1109/TIV.2022.3166564.
11. Gusev I. S. Application of Robotic Vehicles for Autonomous Transportation of Minerals // *Mining Business*. — 2020. — No 5. — Pp. 56–63. [In Russ].
12. Wang F.-Y. Meta Vehicles in the metaverse: Moving to a new phase for intelligent vehicles and smart mobility, *IEEE Trans. Intell. Veh.* 2022. Vol. 7, no 1, pp. 1–5.
13. Zuenko A. A., Makedonov R. A., Oleynik Y. A. Intelligent search for precise solutions to the problem of open-pit mining planning. *Data Analysis and Processing Systems*, 2021. 3 (83), 99–114. [In Russ].
14. Markaryan A. O. Intelligent Algorithms for Assessing Safety Rules in Mining Operations by Autonomous Robotic Systems // XXVIII International Scientific and Technical Conference “Modern Technologies in the Tasks of Control, Automation and Information Processing”: Alushta. — 2019. — P. 86–87. [In Russ].
15. Rylnikova M. V., Fedotenko V. S., Esina E. N. Application of Intelligent Systems and Technologies in Open Development of Coal Deposits with High Overburden Benches. — 2018. — No. 1. — Pp. 32–36. [In Russ].
16. Varichev A. V., Kretov S. I., Ismagilov R. I., Badtiev B. P., Vladimirov D. Ya. Integrated Approach to Intelligent Mining Management Systems // *Mining Industry*. — 2016. — No. 3 (127). — Pp. 4–7. [In Russ].

17. Trubetskoy K. N., Rylnikova M. V., Klebanov D. A., Makeev M. A. Scientific and Technical Issues of Changing the Organization of Open-pit Mining Management with the Use of Robotic Quarry Equipment. *Mining Industry*, 2017. No. 5 (135), pp. 27–30. [In Russ].

18. Grebenkina I. A., Grebenkina S. A., Blagodir A. L. Current state and trends in the development of infocommunication transport infrastructure in the Russian Federation. *Transport Law and Security*, 2020. (1), 126-141. [In Russ].

19. Pokusaev O. N., Misharin A. S., Kupriyanovsky V. P., Klimov A. A. World market of autonomous (unmanned) cars. *Modern Information Technologies and IT Education*, 2018. 14(3), 737–747. [In Russ].

20. Shishkin P. V., Efremkov E. A., Qi M. Development of a Mathematical Model of Operation Reliability of Mine Hoisting Plants. *Mathematics*. 2024, 12, 1843. DOI: 10.3390/math12121843.

21. Martyushev N. V., Sorokova S. N., Efremkov E. A., Valuev D. V., Qi M. Review Models and Methods for Determining and Predicting the Reliability of Technical Systems and Transport. *Mathematics*. 2023, 11, 3317. DOI: 10.3390/math11153317.

22. Valuev D. V., Qi M. Mathematical Logic Model for Analysing the Controllability of Mining Equipment. *Mathematics*. 2024, 12, 1660. DOI: 10.3390/math12111660.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Ерещенко Никита Дмитриевич*<sup>1</sup> — ассистент, e-mail: ereshhenko.2017@stud.nstu.ru, ORCID ID: 0009-0008-3162-7793,

*Андрियाшин Сергей Николаевич*<sup>1</sup> — ассистент, e-mail: andriyashin.2014@corp.nstu.ru, ORCID ID: 0000-0003-1575-8933,

*Борзенков Алексей Николаевич*<sup>1</sup> — младший научный сотрудник научно-исследовательской части, e-mail: al-exxxe-y@mail.ru;

*Рожкова Марина Викторовна*<sup>1</sup> — старший преподаватель, e-mail: rozhkova@corp.nstu.ru, ORCID ID: 0000-0001-5039-2039;

<sup>1</sup> Новосибирский государственный технический университет.

**Для контактов:** *Ерещенко Н. Д.*, e-mail: ereshhenko.2017@stud.nstu.ru.

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*Ereshchenko N. D.*<sup>1</sup>, assistant, e-mail: ereshhenko.2017@stud.nstu.ru, ORCID ID: 0009-0008-3162-7793;

*Andriyashin S. N.*<sup>1</sup>, assistant, e-mail: andriyashin.2014@corp.nstu.ru, ORCID ID: 0000-0003-1575-8933;

*Borzenkov A. N.*<sup>1</sup>, Junior Researcher, Research Department, e-mail: al-exxxe-y@mail.ru;

*Rozhkova M. V.*<sup>1</sup>, Senior Lecturer, e-mail: rozhkova@corp.nstu.ru, ORCID ID: 0000-0001-5039-2039;

<sup>1</sup> Novosibirsk State Technical University, 630073, Novosibirsk, Russia.

**Corresponding author:** *Ereshchenko N. D.*, e-mail: ereshhenko.2017@stud.nstu.ru.

Получена редакцией 01.07.2024; получена после рецензии 04.09.2024; принята к печати 10.10.2024.

Received by the editors 01.07.2024; received after the review 04.09.2024; accepted for printing 10.10.2024.

