



Особенности применения комплексов датчиков в системах безопасности технологического транспорта в условиях открытых горных работ

И.А. Королев ✉, Т.П. Глум, Е.Ю. Ботян

Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация
✉ korolev_ia@pers.spmi.ru

Резюме: В статье приводится обзор современных подходов к применению датчиков различного типа в системах аддитивной помощи оператору карьерного транспорта, актуальность которого обусловлена высокой аварийностью горной техники в условиях открытой добычи полезных ископаемых при разработке в карьерах. Ключевыми причинами являются сложные горно-геологические условия: аварии происходят из-за ограниченной обзорности, слепых зон, запыленности, сложного рельефа и нестационарных траекторий движения. Дополнительно за обнаружение угроз отвечают бортовые комплексы, включающие в структуру датчики различного типа. Анализ преимуществ и ограничений чувствительности сенсорных элементов ставит целью классификацию сценариев применения с учетом выявления факторов деградации датчиков при эксплуатации в запыленных условиях, вибрационных процессов, при взрывных работах и температурных перепадах, а также оценку перехода к проактивным системам с предиктивной аналитикой. Приведены сравнения преимуществ и недостатков датчиков, схемы размещения комплексов датчиков и зон контроля с целью уточнения рекомендации по дальнейшему применению при изучении сложностей внедрения таких систем в условиях открытых горных работ.

Ключевые слова: интеллектуальные транспортные системы, карьерная техника, карьерный самосвал, открытые горные работы, предотвращение столкновений, промышленная безопасность, технологический транспорт, транспортно-технологические процессы

Для цитирования: Королев И.А., Глум Т.П., Ботян Е.Ю. Особенности применения комплексов датчиков в системах безопасности технологического транспорта в условиях открытых горных работ. *Горная промышленность*. 2026;(4S):202–209. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2026-4S-202-209>

Specific features of utilizing sensor complexes in safety systems of technological transport in surface mining conditions

I.A. Korolyov ✉, T.P. Glum, E.Yu. Botyan

Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University, Saint Petersburg, Russian Federation
✉ korolev_ia@pers.spmi.ru

Abstract: The article provides an overview of contemporary approaches to utilizing various types of sensors in additive assistance systems for operator of the mine transport vehicles, which is relevant due to the high accident rates with mining equipment in open-pit mining operations. The key reasons for this are the challenging mining and geological conditions, where accidents occur due to limited visibility, blind spots, dust, complex terrain, and non-stationary travel paths. In addition, onboard systems that include various types of sensors are responsible for detecting threats. Analysis of advantages and limitations of the sensor sensitivity aims to classify the application scenarios based on identification of the factors that lead to the sensor degradation during operation in dusty environment, high vibration impact, blast operations, and temperature fluctuations, as well as to assess the transition to proactive systems with predictive analytics. The article provides comparisons of the advantages and disadvantages of the sensors, as well as diagrams of the sensor systems and control zones, in order to refine recommendations for further application while studying the challenges of implementing such systems in open-pit mining operations.

Keywords: smart transport systems, in-pit mining equipment, in-pit mining dump truck, surface mining, collision prevention, industrial safety, technological transport, transport and technological processes

For citation: Korolyov I.A., Glum T.P., Botyan E.Yu. Specific features of utilizing sensor complexes in safety systems of technological transport in surface mining conditions. *Russian Mining Industry*. 2026;(4S):202–209. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2026-4S-202-209>



Введение

Системы аддитивной помощи оператору (далее – САПО) карьерного транспорта в последние годы становятся самостоятельным направлением инженерных исследований на стыке направлений промышленной безопасности горного производства, организации транспортно-технологических процессов и автомобильного хозяйства тяжелой карьерной техники. Наибольший эффект заметен в отношении карьерных самосвалов, погрузочно-доставочных машин и тяжелых грузовых автомобилей, для которых в рамках традиционных методов визуального контроля сложно обеспечивать заявленный уровень надежности.

Характерными особенностями открытых горных работ в карьере являются ограниченность обзора, повышенная запыленность, изменения местоположений погрузочных зон при перемещении фронта выемочных работ, а также значительные продольные и поперечные уклоны технологических трасс транспортирования горной массы. Эффективность действий оператора определяется и квалификацией, и качеством информации, собираемой бортовыми системами мониторинга с точки зрения изменения условий окружающей среды и технического состояния узлов и агрегатов горной техники. Практика эксплуатации демонстрирует повышение количества и частоты применения комплексных систем, объединяющих радары, камеры, лидары и инфракрасные датчики в единую архитектуру помощи оператору.

Актуальность вопросов коррелирует с данными статистики: по данным обзоров 2021–2025 гг. горный карьерный транспорт является причиной 30–40% летальных случаев в системах открытой разработки со снижением на 20% за счёт использования цифровых технологий [1]. В Республике Казахстан ежегодно при ведении горных работ погибает в среднем 27 человек [2]. В Российской Федерации рост летальных исходов в 2023 г. составил 57% в сравнении с 2022 г. [3; 4]. Тем не менее наибольшая часть случаев смертельного травматизма – 83,7% – приходится на подземный способ добычи, тогда как на открытый способ приходится только 13,5% [5; 6].

Анализ данных показывает, что на объектах горной промышленности в РФ на транспортные происшествия приходилось 37% летальных случаев за 2018–2024 гг. со 114 погибших и 364 пострадавшими в 2023 г. на угольных разрезах. Целью исследования является обобщение основных направлений развития предиктивных систем для повышения качества ведения горных работ оператором при эксплуатации крупного карьерного технологического транспорта. Выявление предпочтительных конфигураций бортовых систем мониторинга карьерных автосамосвалов и определение критериев их выбора при оценке особенностей применения в условиях открытых горных работ позволяет классифицировать бортовые системы и разработать рекомендации по их применению, а также изучить потенциальные трудности при внедрении таких систем в условиях открытых горных работ.

Материалы и методы

Мониторинг транспортной ситуации на карьерном транспорте рассматривается в двух взаимосвязанных аспектах: как задача повышения безопасности движения и как задача адаптации транспортной машины к сложным горно-геологическим условиям ведения открытых горных работ. Например, предложена концептуальная модель эффективности системы «оператор – автомобиль

– дорога – среда», что важно для формализации взаимодействия человека, машины и внешних условий [7]. Такой подход позволяет рассматривать САПО не как отдельный набор функций, а как часть более общей системы управления рисками. На примере тяжелых карьерных самосвалов формулируется подход к управлению автономными транспортными средствами [8]. При акценте именно на автономности логика исследования непосредственно связана с САПО: системы диагностики и мониторинга транспортной ситуации выступают промежуточным этапом между классическим принципом управления и полной автоматизацией. Для тяжелой карьерной техники внедрение полностью автономных решений часто осуществляется поэтапно, начиная с функций предупреждения и частичной поддержки оператора. Предотвращение столкновений карьерных автосамосвалов рассматривается как наиболее критичный сценарий для горной техники. Подобные исследования ставят целью изучение применимости бортовых систем мониторинга как практическую часть процесса эксплуатации: радары и лидары являются ключевыми средствами для обнаружения объектов, персонала, другой техники и опасных зон в карьере. Затрудненная и недостаточная видимость при управлении автосамосвалом является следствием не только конструктивных особенностей транспортных средств, но и природно-климатических условий (туман, снег, загазованность и запыленность технологических автодорог), что подчеркивает значимость внешних факторов среды карьера, которые оказывают значительное влияние на точность работы САПО [9].

Типичный (базовый) уровень структуры САПО предполагает строгую вертикальную связь по принципу иерархии: сенсорный уровень, уровень обработки, уровень принятия решения и интерфейс предупреждения оператора. Камеры применяются для распознавания объектов и траекторных признаков, радары – для измерения расстояния и относительной скорости, а инфракрасные каналы – для работы в условиях плохой видимости и контроля состояния оператора. Разработка интеллектуальной системы помощи оператору на базе бортовых САПО-функций показывает, что отечественные исследования развивают вопросы интеграции компьютерного зрения и работы систем бортовой аналитики [10; 11]. Состояние окружающей среды может изменяться достаточно интенсивно в рамках отчетного периода (смены или дня): запыленность, выпадение осадков, особенности ведения работ в темное время суток, наличие отвальных зон и нестандартная геометрия дорог. Влияние внешних факторов показывает недостаточность использования только одной группы датчиков и повышает значимость комплексности сенсорных схем, что подчёркивает актуальность важности учёта воздействия факторов окружающей среды на отдельные элементы САПО.

Для тяжелонагруженных горных машин критичны значения величин уклонов дорожного полотна, высота подъема и сопротивление качению с целью предотвращения повышенного износа и потери работоспособности шин, а также продления срока службы узлов и агрегатов ходовой части и повышения технико-экономических показателей парка тяжелых карьерных самосвалов [12]. Радиолокационная оценка обстановки вокруг крупногабаритного транспортного средства обеспечивает устойчивость режима движения к запыленности, туману и слабой освещенности и позволяет определять расстояние и относительную скорость объектов на безопасной дистанции. В сочетании с видеонаблюдением радар обеспечивает более

Таблица 1
Сравнительный обзор типов датчиков обнаружения

Table 1
A comparative overview of the detection sensor types

Расшифровка и перевод на русском	Тип датчика	Функция
Камеры (Cameras)	Видео и компьютерное зрение	Детектирование слепых зон и объектов
Global Navigation Satellite System (GNSS) – общее название глобальных спутниковых навигационных систем. Частный пример – Global Positioning System (GPS)	Спутниковое позиционирование	Обнаружение техники и геозон
Радар (RADAR)	Радиолокационные датчики	Обнаружение техники и участников технологических процессов (операторов)
Лидар (LiDAR)	Лазерное сканирование	Построение 3D-окружения
Метка (TAG)	Радиометки	Выявляют людей и объекты
Radio Frequency Identification (RFID) – радиочастотная идентификация		
Vehicle-to-Everything (V2X) технология беспроводной связи по взаимодействию транспортного средства с источниками сигнала на производственной площадке	Связь «машина – окружающая среда»	Обмениваются данными и предупреждают водителя
Sensor fusion – слияние данных с датчиков разного типа	Комбинация сенсоров	Повышают надежность и точность

Составлено по данным [15].
Compiled using data from [15].

надежный уровень принятия предупреждающих действий [13]. Оценка дорожной обстановки и различных транспортных ситуаций при помощи распределенной системы датчиков позволяет комбинировать данные от нескольких источников, повышая точность и скорость обнаружения препятствий [14]. В условиях открытых горных работ на карьере эффект может быть достигнут объединением сигналов бортовых радаров, лидаров, камер кругового обзора и внешних инфраструктурных датчиков в единый массив данных.

Анализ технологий предупреждения и предотвращения столкновений для горных карьерных самосвалов показывает, что основным направлением исследований последних лет является устойчивость адаптивности конкретных разработок и их применимости в реальных горно-геологических условиях [15]. Большая часть опубликованных данных относится к ранним этапам прототипирования: произведена оценка отдельных источников сигнала и данных единичных лабораторных испытаний без полноценной проверки в промышленных условиях. Основной особенностью является фокус на изучении кейсов «взаимодействия машины с машиной», что не является отражением статистических данных: самые тяжёлые инциденты при добыче твердых полезных ископаемых нередко обусловлены контактом горной техники с окружающей производственной средой, предотвращение которых базируется на полевых испытаниях и независимой проверке эффективности бортовых систем мониторинга и предотвращения аварий. В табл. 1 приведено сравнение основных современных технологий датчиков, применяемых в САПО.

Согласно данным Caterpillar Inc. (CAT) системы обнаружения объектов, устанавливаемые на карьерные самосвалы, демонстрирует прикладной уровень внедрения радаров и камер [16] для решения посредством САПО конкретных эксплуатационных задач: предупреждение о препятствиях, уменьшение числа столкновений, контроль опасных зон вокруг горной техники. Межотраслевым примером является кооперативное восприятие дорожной обстановки на трассах общего пользования: одиночный сенсор редко дает достаточную надежность, поэтому все

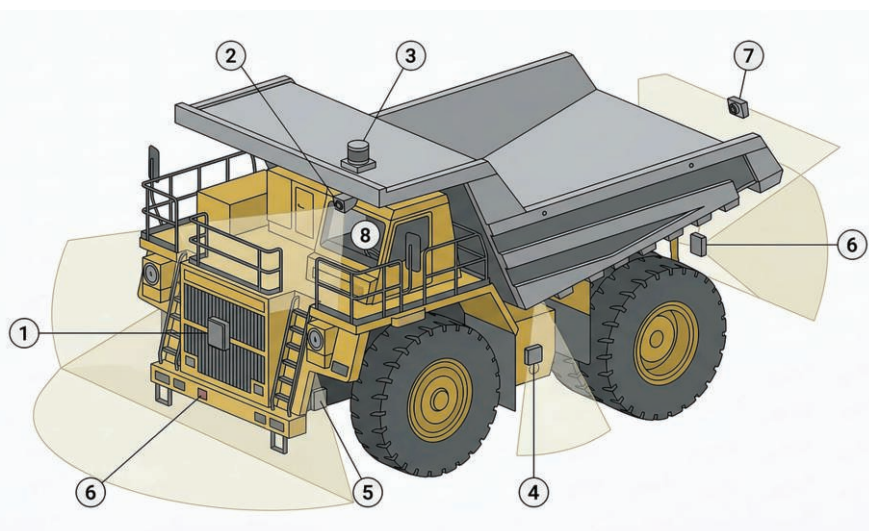


Рис. 1
Схема расположения датчиков на карьерном самосвале:
1 – передний радар;
2 – передняя камера;
3 – лидар на козырьке;
4 – боковой радар;
5 – ИК-датчик спереди;
6 – задний радар;
7 – камера заднего обзора;
8 – блок обработки данных в кабине

Fig. 1
Sensor layout on a mining dump-truck:
1 – front radar;
2 – front camera;
3 – lidar on the cabin shield canopy;
4 – side radar;
5 – front IR sensor;
6 – rear radar;
7 – rear view camera;
8 – data processing unit in the cabin

чаще применяются комплексные системы, объединяющие данные от нескольких источников, что позволяет масштабировать принцип до уровня крупного карьерного технологического транспорта [17]. Системы САПО рассматриваются не только по перечню функций, но и по степени автоматизации, типу используемых сенсоров и сценарию вмешательства. Для карьерных самосвалов система принятия решений имеет упреждающую функцию с целью автоматического ограничения движения или процесса инициации торможения. На рис. 1 представлены основные типы датчиков, применяемые в САПО карьерного самосвала.

Основные принципы применения различных сенсоров в тяжелой карьерной технике предполагают использование комплексных подходов: тенденция к объединению данных от множества разнородных датчиков (радаров, лидаров, камер, ультразвуковых датчиков, IMU (inertial measurement module – инерциальный измерительный модуль), GPS) в единую согласованную систему основана на принципах интеграции и сенсорной ассимиляции при условии сохранения работоспособности датчиков платформы мониторинга в тяжелых условиях эксплуатации [18; 19]. Методика оценки надежности экскаваторно-автомобильных комплексов основывается на количественной модели резервирования транспортных каналов [20]. Надежность карьерного транспорта в значительной степени зависит от устойчивости связки «экскаватор – автосамосвал» и наличия резервных маршрутных схем [21].

Выводы по результатам исследований подтверждают, что информационные системы, учитывающие не только техническое состояние отдельного самосвала, но и работу всего комплекса, повышают вероятность выполнения плана по грузообороту и снижают риски возникновения простоев и аварий [22]. Аппарат нечеткой логики для прогнозирования нагрузок в рабочем оборудовании карьерного экскаватора учитывает большое число случайных и трудно формализуемых факторов [23; 24]. В расчетных моделях учитываются динамика загрузки, свойства грунта и режимы работы, что позволяет получать распределения напряжений в элементах оборудования, близкие к экспериментальным данным. Результаты патентного поиска демонстрируют тенденции к цифровизации отдельных аспектов горнодобывающей промышленности: системы цифрового мониторинга анализируют характеристики движения, загрузки и маршрута, выполняя оптимизацию режимов работы в реальном времени [25]. Система функционирует как аддитивный элемент, уточняющий для оператора тяжелой карьерной техники критерии рациональности скоростных режимов, моменты переключения передач и оптимальные участки торможения и разгона, объединяя отдельные датчики (скорости, уклона, массы) в интеллектуальный ассистент, снижающий расход топлива и вероятность возникновения ошибок и превышения нормативной грузоподъемности, повышая безопасность эксплуатации карьерного транспорта [26; 27].

Результаты

Анализ текущего состояния и перспектив развития автотранспорта в горнодобывающих комплексах, включая проблемы надежности, аварийности и технического об-

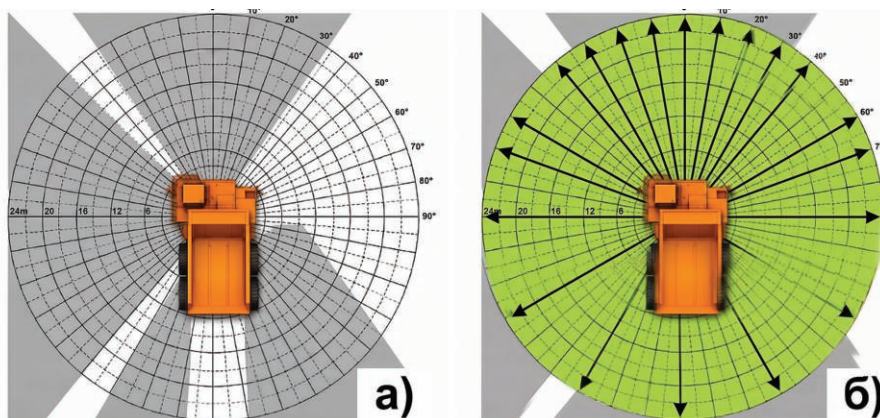


Рис. 2
Зоны обзора для водителя:
а – без датчиков;
б – с датчиками

Fig. 2
Viewing zones of the driver:
a – without sensors;
b – with the sensors

служивания, показывает, что дальнейшее повышение эффективности и безопасности становится возможным только при переходе к цифровым системам мониторинга, использующим датчики и телеметрию. Тяжелый карьерный транспорт в большинстве случаев рассматривается не как отдельный тип горного оборудования, а как часть цифровой экосистемы предприятия, что требует комплексных сенсорных решений [28; 29].

На рис. 2 изображены основные зоны видимости тяжелого карьерного самосвала, оборудованного САПО. Архитектура и принципы функционирования сенсорных систем для высокоавтоматизированных транспортных средств, рассматривая сочетание радаров, лидаров, видеокамер и инфракрасных датчиков, представляет собой основу единой перцепционной платформы. Особое внимание уделено вопросам надежности, совместимости датчиков и устойчивости к внешним воздействиям, что позволяет обосновывать для карьерного транспорта выбор многосенсорных компоновок в рамках комбинированных решений и обеспечивать стабильность перцепции и трактовать развитие транспортных ситуаций в условиях запыленности, тумана и ограниченной видимости [30].

Использование цифровых платформ, систем спутниковой навигации, датчиков и удаленного мониторинга снижает количество простоев, повышает безопасность и приводит к сокращению затрат. САПО относятся не только к области безопасности, но и служат основой цифровой трансформации всей транспортно-логистической системы, в том числе карьерного и горного транспорта [31; 32].

Системы предотвращения столкновений для горной техники и защиты персонала при ведении открытых работ, включая радиолокационные решения, а также системы радиочастотной идентификации для отслеживания техники позволяют существенно снизить частоту аварий и травм, особенно в условиях плохой видимости и повышенной плотности движения техники [33–35].

В табл. 2 представлены преимущества и недостатки типовых решений датчиков. Качественный анализ причин дорожно-транспортных происшествий на угольных разрезах основан на детерминированности следующих ключевых факторов: человеческий фактор, состояние дорог, условия видимости и тяжелые эксплуатационные режимы. Многие из этих причин могут быть частично компенсированы системами мониторинга, особенно предупреж-



Таблица 2
Преимущества и недостатки типовых решений

Table 2
Advantages and disadvantages of the conventional solutions

Датчик	Преимущества	Недостатки
Радар	Функциональность в условиях пыли/тумана/дождя; дальность до 200 м; точное измерение скорости и расстояния	Низкое разрешение; отсутствие возможности распознать тип объекта; чувствительность к многолучевым отражениям
Лидар	Высокое 3D-разрешение (до 3 см); широкий угол обзора; детальная карта препятствий	Деградация в пыли/дожде; высокая стоимость; чувствительность к вибрации
Камера	Распознавание объектов/знаков; низкая стоимость	Зависимость от освещения; низкая дальность; ограничение в условиях плохой видимости
ИК-датчик	Ночное видение; детекция тепловых объектов (пешеходы); частичное игнорирование дыма/пыли	Ограниченная дальность; влияние температуры среды; ограничения по измерению скорости

дения столкновений и контроля слепых зон, с целью связи эмпирического анализа аварийности с необходимостью внедрения технических решений, включая комплексные САПО на базе датчиков и программного обеспечения [36].

При внедрении современных САПО требуется непрерывность процесса формирования паттернов безопасного поведения операторов. Применение таких систем снижает число инцидентов и позволяет более эффективно контролировать режимы движения и доступ транспортных средств в рабочие зоны. Влияние стиля управления на расход топлива показывает, что агрессивное или неоптимальное поведение оператора существенно увеличивает износ техники [37; 38].

Заключение

Развитие систем мониторинга для карьерного и другого крупногабаритного технологического транспорта характеризуется переходом от простых предупреждающих устройств к интегрированным многосенсорным комплексам по обеспечению безопасных условий эксплуатации, особенно значимыми являются функции предупреждения столкновений, контроля слепых зон, распознавания препятствий, мониторинга состояния водителя и оценки

окружающей обстановки в условиях ограниченной видимости, что позволяет рассматривать САПО как ключевой элемент технологической безопасности.

На текущий момент вопросы внедрения САПО имеют ряд аспектов: связь безопасности оператора с технологическими процессами открытой добычи полезного ископаемого (например, взрывные работы представляют для персонала высокий риск ввиду как прямого опасного воздействия самого взрыва, так и косвенного, включая продукты взрыва), связь САПО и иных интеллектуальных систем карьера позволяет совершенствовать процесс построения маршрутов транспортирования горной массы, добавляя участки объездов опасных зон карьера при решении эксплуатационных задач оптимизации путем количественного сопоставления эффективности сенсоров, анализа применимости комплексных систем в реальных производственных условиях и разработки моделей их адаптации к различным видам горнотранспортной техники. Важно учитывать негативное воздействие условий эксплуатации открытых горных работ на функционирование бортовых систем, в частности, влияние побочных продуктов взрывных работ на работоспособность датчиков, воздействие пыли на срок службы оптических элементов и т.д.

Список литературы / References

1. Колчанов А.Г., Колчанова А.А. *Охрана труда и безопасность движения на открытых горных разработках в мире*. СПб.: Научное издание; 2024. 229 с. Режим доступа: <https://publishing.intelgr.com/archive/Okhrana-truda-i-bezopasnost-dvizheniya.pdf> (дата обращения: 25.03.2026).
2. Бакишев К.А., Алихан А.К. Травматизм при ведении горных или строительных работ: состояние, динамика, прогноз. *Вестник КазНУ. Серия Юридическая*. 2024;109(1):98–112. <https://doi.org/10.26577/JAPJ2024109110>
Bakishev K.A., Alikhan A.K. Injuries during mining or construction work: condition, dynamics, prognosis. *Journal of Actual Problems of Jurisprudence*. 2024;109(1):98–112. (In Russ.) <https://doi.org/10.26577/JAPJ2024109110>
3. Бабкин Р.С., Кольвах К.А., Барабошкин И.А. Снижение выбросов оксидов азота при проведении массовых взрывов на открытых горных работах. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2025;(2):16–27. https://doi.org/10.25018/0236_1493_2025_2_0_16
Babkin R.S., Kolvakh K.A., Baraboshkin I.A. Reduction in emission of nitrogen oxides in massive blasting in open pit mining. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. (In Russ.) 2025;(2):16–27. https://doi.org/10.25018/0236_1493_2025_2_0_16



4. Морозов Д.М., Грязнов А.Ю. Аварийность и травматизм на предприятиях угольной отрасли. В кн.: Костилов К.С. (ред.) *Россия молодая: сб. материалов 17-й Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием, г. Кемерово, 22–25 апреля 2025 г.* Кемерово: Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева; 2025. С. 10115.1–10115.7. Режим доступа: <https://science.kuzstu.ru/wp-content/Events/Conference/RM/2025/RM25/pages/Articles/10115.pdf> (дата обращения: 25.03.2026).
5. Гаврилов Д.В., Лежнев Е.А., Соболев В.В. Анализ состояния аварийности и травматизма на предприятиях угольной промышленности за 2014–2023 годы. *Горная промышленность*. 2025;(1):41–48. <https://doi.org/10.30686/16099192-2025-1-41-48>
Gavrilov D.V., Lezhnev E.A., Sobolev V.V. Analysis of accident and injury rates at coal industry operations in 2014–2023. *Russian Mining Industry*. 2025;(1):41–48. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-1-41-48>
6. Zadkov D.A., Martyushev N.V., Malozyomov B.V., Demin A.Y., Pogrebnoy A.V., Kuleshova E.E., Valuev D.V. Mathematical modeling of operational reliability of mine lifting equipment based on censored data. *Mathematics*. 2026;14(4):716. <https://doi.org/10.3390/math14040716>
7. Умирзоков А.М., Мамбеталин К.Т., Сайдуллозода С.С., Саибов А.А. Концептуальная модель оценки эффективности системы «водитель – автомобиль – дорога – среда». *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Машиностроение*. 2019;19(1):37–46. <https://doi.org/10.14529/engin190104>
Umirzokov A.M., Mambetalin K.T., Saydulozoda S.S., Saibo A.A. Conceptual model of the estimation of the efficiency of the driver – car – road – environment system. *Bulletin of the South Ural State University. Series Mechanical Engineering Industry*. 2019;19(1):37–46. (In Russ.) <https://doi.org/10.14529/engin190104>
8. Никитенко М.С., Кизилов С.А., Худоногов Д.Ю. Анализ подходов к управлению автономными транспортными средствами. *Современные наукоемкие технологии*. 2022;(12-2):278–283. <https://doi.org/10.17513/snt.39472>
Nikitenko M.S., Kizilov S.A., Khudonogov D.Y. Analysis of approaches to autonomous vehicle control. *Modern High Technologies*. 2022;(12-2):278–283. (In Russ.) <https://doi.org/10.17513/snt.39472>
9. Скударнов Д.Е., Портола В.А. Предотвращение столкновений карьерных автосамосвалов. В кн.: Костюк С.Г. (ред.) *Безопасность жизнедеятельности предприятий в промышленно развитых регионах: материалы 13-й Междунар. науч.-практ. конф., Кемерово, 26–27 ноября 2019 г.* Кемерово: Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева; 2019. С. 202-1–202-4.
10. Комзалов А.М., Шилов Н.Г. Применение современных технологий в системах помощи водителю автомобиля. *Известия высших учебных заведений. Приборостроение*. 2017;60(11):1077–1082. Режим доступа: <https://old-pribor.itmo.ru/file/article/17249.pdf> (дата обращения: 25.03.2026).
Komzalov A.M., Shilov N.G. Application of modern technologies in car driver assistance systems. *Journal of Instrument Engineering*. 2017;60(11):1077–1082. (In Russ.) Available at: <https://old-pribor.itmo.ru/file/article/17249.pdf> (accessed: 25.03.2026).
11. Веницкий М.А., Дусталев Е.В., Минин Д.А., Бабищ В.Н., Бобровский В.И. Разработка интеллектуальной системы помощи водителю. *Информационные технологии и телекоммуникации*. 2025;13(1):40–46. <https://doi.org/10.31854/2307-1303-2025-13-1-40-46>
Vinitsky M.A., Dustalev E.V., Minin D.A., Babich V.N., Bobrovsky V.N. Development of an advanced driver assistance system. *Telecom IT*. 2025;13(1):40–46. (In Russ.) <https://doi.org/10.31854/2307-1303-2025-13-1-40-46>
12. Турсунов А.А., Абдуллоев М.А., Умирзаков А.М. Оценка влияния параметров горной среды на энергетические показатели энергоустановок транспортных машин. В кн.: Захаров Н.С. (ред.) *Транспортные и транспортно-технологические системы: материалы междунар. науч.-техн. конф., г. Тюмень, 14 апреля 2010 г.* Тюмень: ТюмГНГУ; 2010. С. 304–308.
13. Зайцева Е.В., Кочнева А.А., Катунцов Е.В. Исследование эффектов искажения цвета при применении методов адаптивного гистограммного выравнивания к видеокдрам из шахт. *Устойчивое развитие горных территорий*. 2026;18(1):218–230. <https://doi.org/10.21177/1998-4502-2026-18-1-218-230>
Zaytseva E.V., Kochneva A.A., Katuntsov E.V. Reseaching of color distortion effects when applying adaptive histogram equalization methods to video frames from mines. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2026;18(1):218–230. (In Russ.) <https://doi.org/10.21177/1998-4502-2026-18-1-218-230>
14. Shishanov S., Zakhryapin D., Dzvonkovskaya A., Qin B. Systematic error measurements in object height estimation for automotive radars. *IET Conference Proceedings*. 2024;2023(47):569–572. <https://doi.org/10.1049/icp.2024.1146>
15. Лиготский Д.Н., Долгушин Н.А. Анализ опыта применения беспилотных технологий при открытой разработке месторождений и перспективы их развития. *Горный журнал*. 2025;(2):42–47. <https://doi.org/10.17580/gzh.2025.02.06>
Ligotsky D.N., Dolgushin N.A. Analysis of experience in the use of unmanned technologies in open pit mining and prospects for their development. *Gornyi Zhurnal*. 2025;(2):42–47. (In Russ.) <https://doi.org/10.17580/gzh.2025.02.06>
16. Hrica J.K., Bellanca J.L., Benbourenane I., Carr J.L., Homer J., Stabryla K.M. A rapid review of collision avoidance and warning technologies for mining haul trucks. *Mining, Metallurgy & Exploration*. 2022;39(4):1357–1389. <https://doi.org/10.1007/s42461-022-00633-w>
17. Richards M. Slow speed object detection for haul trucks: Caterpillar integrates radar technology with its current camera-based system. *Engineering & Mining Journal*. November 2009. Available at: <https://www.scribd.com/document/206426378/T-MarkRichardsPresentation> (accessed: 31.03.2026).



18. Bhunia S., Regis P.A., Sengupta S. Distributed adaptive beam nulling to survive against jamming in 3D UAV mesh networks. *Computer Networks*. 2018;137:83–97. <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2018.03.011>
19. de Winkel K.N., Rethinking M.C. Rethinking Advanced Driver Assistance System taxonomies: A framework and inventory of real-world safety performance. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*. 2025;29:101336. <https://doi.org/10.1016/j.trip.2025.101336>
20. Сафиуллин Р.Н., Симонова Л.А., Лавренко С.А., Пеплер А.Э. Богданов М.В. Методика прогнозирования интенсивности отказов горных машин с учетом многорежимности их эксплуатации. *Горная промышленность*. 2026;(1):164–169. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2026-1-164-169>
Safiullin R.N., Simonova L.A., Lavrenko S.A., Pepler A.E., Bogdanov M.V. Methodology for predicting the failure rate of mining machines with account of their multimode operation. *Russian Mining Industry*. 2026;(1):164–169. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2026-1-164-169>
21. Хамидов О.У., Шибанов Д.А. Техническое обслуживание и ремонт карьерных экскаваторов по регламенту с учетом фактических условий и режимов их эксплуатации. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2025;(12-3):152–167. https://doi.org/10.25018/0236_1493_2025_123_0_152
Khamidov O.U., Shibbanov D.A. Regulated maintenance and repair of quarry excavators considering real-world conditions and operating modes. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2025;(12-3):152–167. (In Russ.) https://doi.org/10.25018/0236_1493_2025_123_0_152
22. Сычев Ю.А., Назарычев А.Н., Дяченко Г.В. Повышение безопасности труда водителей карьерных самосвалов путем снижения риска возникновения отказов функциональных узлов тягового электропривода в условиях эксплуатации. *Безопасность труда в промышленности*. 2023;(9):52–58. <https://doi.org/10.24000/0409-2961-2023-9-52-58>
Sychev Yu.A., Nazarychev A.N., Dyachenok G.V. Improving the labor safety of mining dump truck drivers by reducing the risk of failure of the functional units of the traction electric drive under operating conditions. *Occupational Safety in Industry*. 2023;(9):52–58. (In Russ.) <https://doi.org/10.24000/0409-2961-2023-9-52-58>
23. Курганов В.М., Грязнов М.В., Колобанов С.В. Оценка надежности функционирования экскаваторно-автомобильных комплексов в карьере. *Записки Горного института*. 2020;241:10–21. <https://doi.org/10.31897/pmi.2020.1.10>
Kurganov V.M., Gryaznov M.V., Kolobanov S.V. Assessment of operational reliability of quarry excavator-dump truck complexes. *Journal of Mining Institute*. 2020;241:10–21. <https://doi.org/10.31897/pmi.2020.1.10>
24. Великанов В.С. Прогнозирование нагруженности рабочего оборудования карьерного экскаватора по нечетко-логистической модели. *Записки Горного института*. 2020;241:29–36. <https://doi.org/10.31897/pmi.2020.1.29>
Velikanov V.S. Mining excavator working equipment load forecasting according to a fuzzy-logistic model. *Journal of Mining Institute*. 2020;241:29–36. <https://doi.org/10.31897/pmi.2020.1.29>
25. Цупкина М.В., Кирков А.Е., Клебанов Д.А., Радченко Д.Н. Обоснование необходимости улучшения стратегии управления функционированием горно-технической системы на основе анализа данных об отработке сложноструктурных блоков. *Записки Горного института*. 2024;266:316–325. Режим доступа: <https://pmi.spmi.ru/pmi/article/view/16302> (дата обращения: 29.02.2026).
Tsupkina M.V., Kirkov A.E., Klebanov D.A., Radchenko D.N. Justification of the approaches to improve management strategy of the mining system based on the analysis of data on the mining of complex structural rock blocks. *Journal of Mining Institute*. 2024;266:316–325. Available at: <https://pmi.spmi.ru/pmi/article/view/16302> (accessed: 29.02.2026).
26. Абасов С.А., Макеев М.А. Система и способ оптимизации работы самосвала с помощью цифрового советчика водителю. Патент RU2774512C1 Российская Федерация. Оpubл. 21.06.2022. Режим доступа: <https://patents.google.com/patent/RU2774512C1> (дата обращения: 25.03.2026).
27. Nazarychev A., Iliev I., Manukian D., Beloev H., Suslov K., Beloev I. Methodology for developing a maintenance action program for power units of captive power plants based on an integrated priority indicator. *Energies*. 2026;19(6):1584. <https://doi.org/10.3390/en19061584>
28. Muratbakeev E., Kozhubaev Y., Novak D., Ershov R., Wei Z. Monitoring and diagnostics of mining electromechanical equipment based on machine learning. *Symmetry*. 2025;17(9):1548. <https://doi.org/10.3390/sym17091548>
29. Kozhubaev Y., Novak D., Karpukhin V., Ershov R., Cheng H. Research on monitoring and control systems for belt conveyor electric drives. *Automation*. 2025;6(3):34. <https://doi.org/10.3390/automation6030034>
30. Макарова И.В., Ганиев М.М., Баринов А.С., Габсалихова Л.М., Мавляутдинова Г.Р. Современный автотранспорт горнопромышленного комплекса: проблемы и решения. *Горная промышленность*. 2025;(1S):28–33. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-1S-28-33>
Makarova I.V., Ganiev M.M., Barinov A.S., Gabsalikhova L.M., Mavlyautdinova G.R. Modern motor transport of the mining complex: challenges and solutions. *Russian Mining Industry*. 2025;(1S):28–33. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-1S-28-33>
31. Паночкин Н.В., Костин И.А., Карловский А.В., Орёлкина Д.И. Сенсорные системы высокоавтоматизированных транспортных средств. В кн.: Келлер А.В. Перспективные транспортные технологии: материалы 3-й Междунар. науч.-практ. конф. НТИ «Автонет», г. Москва, 25 апреля 2024 г. М.: Московский Политех; 2024. С. 85–95.



32. Николаев С.В., Власов Ю.Н. Цифровые технологии транспортно-логистических услуг как механизм устойчивого развития региональной и отраслевой экономики. *Технико-технологические проблемы сервиса*. 2023;(4): 58–63.
Nikolaev S.V., Vlasov Yu.N. Digital technologies in the transport and logistics industry as a mechanism for sustainable development of the regional and sectoral economy. *Tekhniko-tekhnologicheskie problemy servisa*. 2023;(4):58–63. (In Russ.)
33. Клебанов А.Ф., Кадочников М.В., Улитин В.В., Сиземов Д.Н. Современные системы предотвращения столкновений горной техники и наездов на персонал при ведении открытых горных работ. *Горная промышленность*. 2020;(5):24–29. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2020-5-24-29>
Klebanov A.F., Kadochnikov M.V., Ulitin V.V., Sizemov D.N. Advanced systems to prevent collisions of mining equipment and personnel accidents in surface mining. *Russian Mining Industry*. 2020;(5):24–29. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2020-5-24-29>
34. Филингер В.Д. Систематизация причин дорожно-транспортных происшествий на угольных разрезах на основе их качественного анализа. В кн.: Костиков К.С. (ред.) *Россия молодая: сб. материалов 17-й Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием, г. Кемерово, 22–25 апреля 2025 г.* Кемерово: Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева; 2025. С. 41711.1–41711.6. Режим доступа: <https://science.kuzstu.ru/wp-content/Events/Conference/RM/2025/RM25/pages/Articles/41711.pdf> (дата обращения: 25.03.2026).
35. Буялич Г.Д., Фурман А.С. Исследование скоростных режимов движения карьерных автосамосвалов. *Международный научно-исследовательский журнал*. 2015;(10-2):22–25. <https://doi.org/10.18454/IRJ.2015.41.064>
Bujalich G.D., Furman A.S. The study of high-speed modes of motion of mine dump. *International Research Journal*. 2015;(10-2):22–25. (In Russ.) <https://doi.org/10.18454/IRJ.2015.41.064>
36. Скударнов Д.Е., Портола В.А., Квасова А.А., Сачков А.В. Анализ смертельного травматизма при добыче угля открытыми горными работами. *Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности*. 2018;(1):33–39.
Skudarnov D.Ye., Portola V.A., Kvasova A.A., Sachkov A.V. Analysis of fatal traumatism in opencast coal mining operations. *Bulletin of Research Center for Safety in Coal Industry (Industrial Safety)*. 2018;(1):33–39. (In Russ.)
37. Локтева О.С., Локтев А.А. Нулевой травматизм и возможность его достижения в транспортной отрасли. *Наука и техника транспорта*. 2020;(2):87–93.
Lokteva O.S., Loktev A.A. Zero injury and the possibility of achieving it in transport industry. *Science and Technology in Transport*. 2020;(2):87–93. (In Russ.)
38. Walnum H.J., Simonsen M. Does driving behavior matter? An analysis of fuel consumption data from heavy-duty trucks. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. 2015;36:107–120. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2015.02.016>

Информация об авторах

Королев Игорь Алексеевич – кандидат технических наук, доцент кафедры машиностроения, Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0003-0337-3999>; e-mail: korolev_ia@pers.spmi.ru

Глум Тихон Павлович – аспирант кафедры безопасности производств, Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0002-0475-4083>

Ботян Евгений Юрьевич – кандидат технических наук, ассистент кафедры информатики и компьютерных технологий, Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0003-3395-935X>

Information about the authors

Igor A. Korolyov – Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor of the Department of Mechanical Engineering, Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University, Saint Petersburg, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0003-0337-3999>; e-mail: korolev_ia@pers.spmi.ru

Tikhon P. Glum – Postgraduate Student of the Department of Industrial Safety, Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University, Saint Petersburg, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0002-0475-4083>

Evgeny Yu. Botyan – Cand. Sci. (Eng.), Assistant of the Department of Informatics and Computer Technologies, Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University, Saint Petersburg, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0003-3395-935X>

Информация о статье

Поступила в редакцию: 12.06.2026
Поступила после рецензирования: 29.07.2026
Принята к публикации: 10.08.2026

Article info

Received: 12.06.2026
Revised: 29.07.2026
Accepted: 10.08.2026