

ISSN 1999-4125 (Print)

ISSN 2949-0642 (Online)

Научная статья

УДК 622.0205

DOI: 10.26730/1999-4125-2026-4-155-163

ОПТИМИЗАЦИЯ СТРАТЕГИИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ГОРНО-ТРАНСПОРТНЫХ КОМПЛЕКСОВ ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТ В АСПЕКТЕ МИРОВОЙ ГЛОБАЛИЗАЦИИ

Кузнецов Илья Витальевич¹, Артамонов Павел Викторович^{2*},
Холодов Виктор Сергеевич¹

¹ Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева

² Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» имени маршала Д. Ф. Устинова

* для корреспонденции: artamonov_pv@voenmeh.ru



Информация о статье

Поступила:

26 марта 2026 г.

Одобрена после

рецензирования:

01 сентября 2026 г.

Принята к публикации:

15 сентября 2026 г.

Ключевые слова:

надежность
горнотехнической системы,
экскаваторно-автомобильный
комплекс, спутниковые
навигационные системы,
карьерный транспорт,
карьерная диспетчеризация,
искусственный интеллект

Аннотация.

Современный мир быстро меняется, и адаптироваться к этим изменениям – один из фундаментальных вызовов современного человека, как в личностном аспекте, так и на уровне социальных групп и всего общества. Развитие науки и техники занимает существенное место в процессе осмысления современных реалий. Значимыми факторами, определяющими актуальные темпы научно-технического прогресса, являются как экономические и организационные (увеличение спроса со стороны производства, развитие материально-технической базы исследований, междисциплинарность научных изысканий, наличие конкурентной среды и т. д.), так социальные и технологические факторы. Огромное увеличение скорости распространения информации, применение искусственного интеллекта, цифровизация данных создают предпосылки к возникновению проблемы общественного запроса на интеграцию и социализацию в условиях необходимости гармоничного существования в техносфере. Для ряда энергетических регионов нашей страны актуальный процесс переосмысления традиционных подходов к добывающему комплексу с учетом экологических, социальных, эргономических аспектов является жизненно необходимым. На текущий момент становится все более очевидной необходимость комплексного подхода при оптимизации работы добывающих предприятий, определяемая, в частности, выбором стратегии обеспечения надежности горно-транспортного оборудования для открытых горных работ. При этом важнейший критерий экономической целесообразности должен согласовываться и корректироваться как с эргономическим критерием (человек–машина–среда), так и с социальным положением в рассматриваемом регионе. Рассматриваются вопросы взаимной интеграции транспортных и горнотехнических систем, сравнительного анализа выбора стратегии обеспечения надежности горно-транспортного оборудования с учетом актуальных характеристик и возможностей техносферы: глобализации, цифровизации, применения искусственного интеллекта как в системах карьерной диспетчеризации, так и при организации технического обслуживания и ремонтов техники.

Для цитирования: Кузнецов И.В., Артамонов П.В., Холодов В.С. Оптимизация стратегии обеспечения надежности горно-транспортных комплексов открытых горных работ в аспекте мировой глобализации // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2026. № 4 (176). С. 155-163. DOI: 10.26730/1999-4125-2026-4-155-163, EDN: SSAOUL

Введение

Вопрос обеспечения необходимого уровня надежности является фундаментальным с позиций эксплуатации современной техники. Тенденции на повышение уровня технической механизации горно-транспортного оборудования предъявляют новые требования как непосредственно к теоретическому аппарату, основанному на вероятностных и статистических математических методах, так и к диалектическому переосмыслению подходов обеспечения надежности [1]. Если в первом приближении математика воспринималась как статистический инструмент фиксации данных, а в дальнейшем как значимый метод планирования эмпирических исследований на этапе конструирования и повышения эффективности в процессе эксплуатации, то сегодня это комплексные программные продукты, способные объединить учет влияния различных существенных факторов на параметры надежности системы.

Глобализация как историческое явление на сегодняшний день проникла практически во все сферы человеческой деятельности, системы карьерной диспетчеризации, как и стратегии разработки обеспечения надежности горно-транспортного оборудования, не стали исключением. Развитие цивилизации неизбежно заставляет искать новые технические и организационные решения, внедрять новые технологии, пересматривать ранее устоявшиеся взгляды. Одним из фундаментальных инструментов обеспечения оптимальной стратегии ТО и Р современных ЭАК является использование данных навигационных систем GPS/ГЛОНАСС. Последние находят все большее применение в различных аспектах человеческой деятельности. Помимо уже привычной сферы логистики, где оптимизация перевозок уже немыслима без данных GPS/ГЛОНАСС, открываются все новые возможности таких сфер, как гражданское строительство и объекты геомеханики, сельское хозяйство и автомобилестроение, горнодобывающая промышленность. Важнейшими факторами, обеспечивающими устойчивое развитие навигационных систем в постиндустриальном обществе, являются как их инвестиционная привлекательность (за счет колоссального числа потребителей), так и способность решать задачи обеспечения безопасности на государственном уровне, а также применение в самых последних и современных системах вооружений.

По мере развития горных работ горнотехническая система карьера непрерывно меняет свои характеристики, вследствие чего возникает проблема повышения затрат на транспортирование взорванной горной массы из-

за низкой скорости адаптации транспортной системы [15]. На сегодняшний день в условиях конкурентной среды критерий экономической целесообразности является приоритетным фактором при формировании эксплуатационной надежности всей системы работы горнодобывающего предприятия, определяемой не только надежностью отдельных подсистем (буровзрывной комплекс, экскаваторно-автомобильный и т. д.) но и в первую очередь уровнем эффективности при взаимодействии указанных подсистем [2, 3]. Существенным обстоятельством при формировании математических моделей надежности грузопотоков является переменная составляющая параметров подсистем и большое количество взаимосвязей между ними. Проблемы моделирования грузопотоков с учетом эксплуатационной надежности горнотранспортного оборудования подробно изложены в работах [4, 5]. Предлагаемые технические решения по сравнительному анализу эффективности различных технологических схем, исследованию эффективности и целесообразности проведения мероприятий по повышению надежности, а также определению рационального количества единиц техники и комплектующих базируются на математических моделях вероятностных методов. Значимым аспектом является возможность анализа показателей на этапе проектирования карьера. При неоспоримой эффективности и универсальности данного подхода одним из основных этапов постановки задачи является наличие граничных условий. Процессы нагружения несущих металлоконструкций по умолчанию являются статическими [16].

В то же время при рассмотрении вопроса определения целевой функции транспортной системы по критерию ее удельной производительности в течение временных отрезков, соизмеримых по порядку с межремонтными циклами единицы оборудования, такие параметры, как сроки ремонтов, периодичность обслуживания и время наработки на отказ, необходимо задавать инвариантными. Эффективно реализовать свои функции, отработав свой заложенный ресурс в полной мере, узлы и детали могут при организации планово-предупредительных ремонтов [4].

Методы исследования

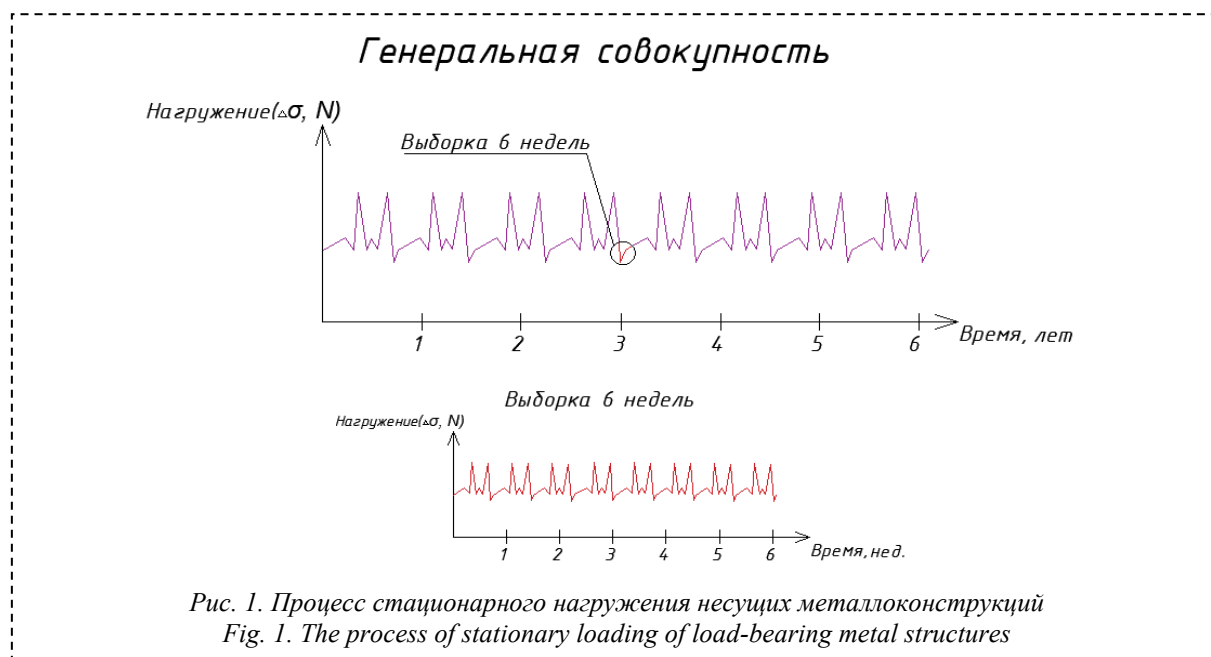
Вместе с тем значения параметров нагружения горнотранспортного оборудования во многом обуславливаются эксплуатационными факторами, которые в условиях ведения горных работ имеют существенную вариативность. Технологичность прокладки трассы разреза,

параметры взорванной горной массы, сезонность эксплуатации, особенно в условиях резко континентального климата, во многом определяют спектры нагрузок несущих металлоконструкций, что отражается на их долговечности, являющейся неотъемлемой частью надежности. В конечном итоге это нередко приводит к тому, что фактически выработанный ресурс изделий и узлов не отражается в полной мере в нормативной документации [17]. Более интенсивная эксплуатация приводит к серьезным отказам техники до установленного срока технического обслуживания, преждевременная постановка, в свою очередь, ведет к неполной реализации заложенного ресурса. Нестационарный режим нагружения предполагает оценку остаточного ресурса и установление межремонтных сроков по фактическому состоянию [6, 7].

На Рис 1 представлен график генеральной совокупности нагружения несущей конструкции за жизненный цикл машины. Число нагрузочных циклов и их амплитуда за промежуток времени подчиняются определенному закону распределения. Рассматривая временной отрезок, соизмеримый с межремонтным периодом, и сопоставив законы распределения нагрузок за указанные промежутки и за весь период эксплуатации оборудования, имеем возможность классифицировать процесс как стационарный или нестационарный. В последнем варианте целесообразность определения рациональных режимов работы с привязкой параметров нагружения к эксплуатационным характеристикам [6, 8] в режиме реального времени должна устанавливаться исходя из совокупности таких факторов, как серийность использованного оборудования, конкретные горно-геологические условия эксплуатации,

возможности ремонтных служб и т. д. Значимым аспектом являются и климатические условия. К примеру, на ряде карьеров Якутии целесообразность проведения как мониторинга состояния несущих металлоконструкций, так и принятых схем календарных ремонтов требует внесения качественных изменений ввиду проблематичности осуществления в данных условиях эксплуатации. То есть некоторые формы технического обслуживания и ремонта в принципе не являются экономически обоснованными в суровых климатических условиях. Используя опыт отечественных и зарубежных предприятий в данном вопросе, в первом приближении можно предположить: переход от планово-предупредительного ремонта к ремонту по фактическому состоянию рационален при эксплуатации техники с высокими показателями производительности, при наличии требуемого уровня ремонтных баз и высококвалифицированного персонала по сервисному обслуживанию, при технологических возможностях предприятия. Выбор критерия оптимизации при обеспечении надежности оборудования в рассматриваемых условиях остается крайне сложной и актуальной проблемой. Вне всяких сомнений, экономические характеристики эффективности и производительность системы в широких временных диапазонах определяют задание граничных условий при нахождении целевой функции, однако в современных реалиях данные факторы не являются исчерпывающими, и полученные численные модели системы требуют не просто математической проверки на адекватность, но и определенных адаптаций с учетом экологических, социальных и эргономических аспектов [9, 10].

Угольная промышленность, несмотря на



определенные сложности реализации сырья на рынке в текущий момент времени (санкции, логистика, падения спроса на внутреннем рынке и т. д.), является одним из перспективных направлений развития экономики как в нашей стране, так и в мировом масштабе. По прогнозам специалистов, удельная доля угля в энергетике составит около пятой части в ближайшее десятилетие по всему миру [11, 12]. Уголь останется востребованным источником недорогой энергии. Вместе с тем тенденции развития угольных карьеров существенным образом влияют на экологию, негативно воздействуют на окружающую среду и, в частности, на качество жизни промышленных регионов [13, 14]. Фактически выступая в роли градообразующих предприятий для многих малых городов, являясь базовой основой экономики нескольких добывающих регионов, своей деятельностью угольные разрезы негативно воздействуют на качество жизни населения. Как следствие, растет социальная напряженность, падает инвестиционная привлекательность, зачастую происходит отток квалифицированных кадров из отрасли. На ряде предприятий Челябинской области и Кузбасса осуществлялись проекты по рекультивации земель и очистке воды. Полученные результаты вполне можно признать успешными, наметились определенные тенденции в понимании, что благополучие населения и уровень экологии региона становятся приоритетными

направлениями развития промышленности. Необходимость формирования зон устойчивого развития вместо зон экологического бедствия является задачей государственной важности [18]. С этой точки зрения формирование стратегии обеспечения надежности горнотранспортного оборудования должно не только учитывать транспортные потоки взорванной горной массы в определенный период времени, но также принимать во внимание комплекс мероприятий, направленных на последующую рекультивацию. Современные технологии в конструировании (искусственный интеллект) позволяют проектировать новые и модернизировать имеющиеся модели техники с учетом их взаимодействия с техносферой на комплексном уровне. Совместное использование систем навигационного позиционирования и карьерной диспетчеризации, а также планирования ТО и Р вполне способны отчасти реализовать подобные задачи на этапе эксплуатации оборудования. Для осуществления указанной задачи необходим комплексный критерий оценки эффективности. Без глобального комплексного подхода реализовать заложенные возможности в полной мере не представляется возможным.

В качестве примера можно рассмотреть некоторые отечественные компании, которые, опираясь на мировой опыт, попытались повысить эффективность системы ТО и Р с помощью программных комплексов управления инфраструктурой и оборудованием. Одним из

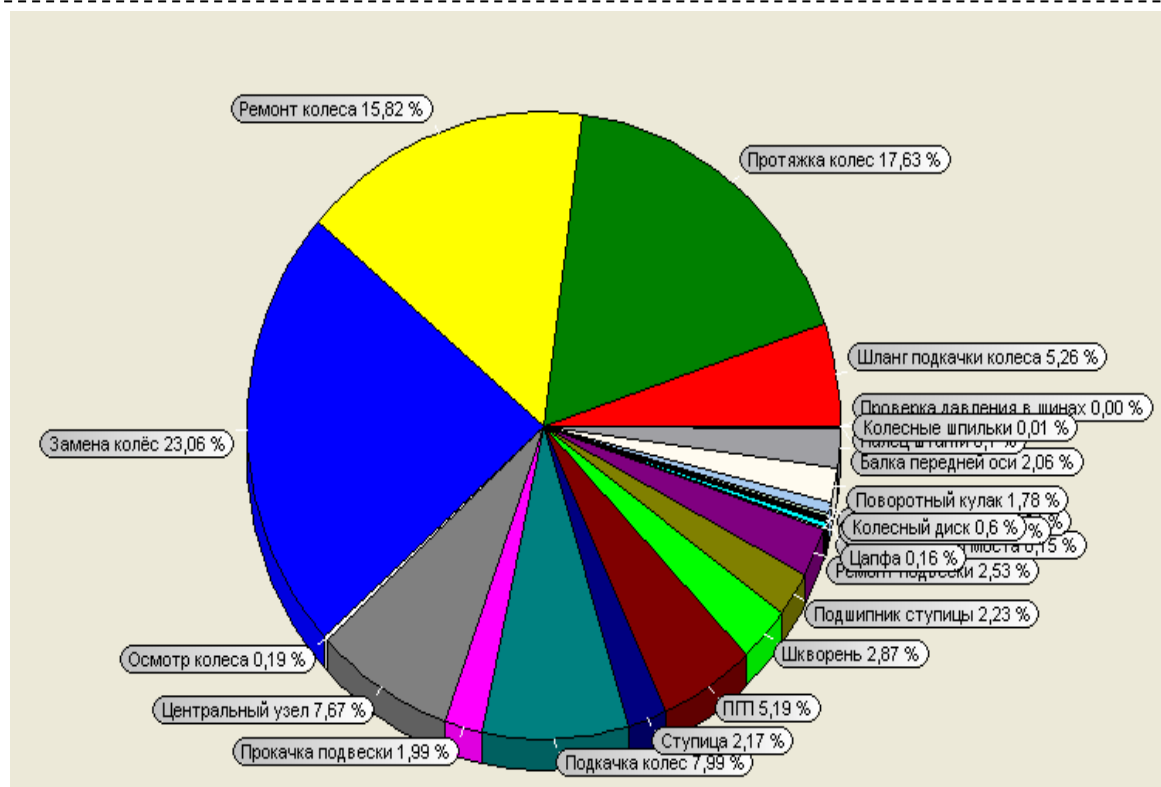


Рис. 2. Детализация простоев по причине ходовой части

Fig. 2. Detailing downtime due to undercarriage

актуальных продуктов являются системы по типу EAM (Enterprise Asset Management) – это система, охватывающая полный жизненный цикл оборудования от закупки до его списания. Для некоторых объектов в ряде развитых стран законодательно регулируются процессы списания, утилизации и перепродажи для сверхресурсного использования в менее развитых странах. Второй распространенной системой является CMMS (Computerized Maintenance Management System). Ее основные функции сосредоточены на техническом обслуживании. Попытки внедрения указанных программных продуктов в работу отечественных предприятий имели незначительный экономический эффект по ряду как организационных, так и технологических причин. Без детальной проработки принятой схемы работы, готовности пересматривать устоявшиеся организационные структуры формальное применение принципов готовых «универсальных» решений от мировых лидеров в данной области привело к довольно скромным показателям повышения эффективности [10].

Отечественные программные продукты по специализированному учету ремонтов и технического обслуживания карьерного транспорта создаются, как правило, под конкретное предприятие с четко фиксированным функциональным назначением. Одним из успешных примеров такой разработки является программа «REGTGAUTO», разработанная и внедренная автобазой разреза «Черниговский» (Кемеровская область). Детализация простоев автотранспорта за период эксплуатации в 11 месяцев представлена на Рис. 2.

Программа автоматически как отображает общее время простоя техники, так и классифицирует это время по критерию причины возникновения, а также по месту возникновения отказа (по узлам и агрегатам) и по видам осуществляемых ремонтов. «REGTGAUTO» не является отдельным инструментом в обеспечении высокого уровня надежности оборудования, она функционирует совместно с системами навигационного спутникового оборудования и карьерной диспетчеризации предприятия. В результате появляется возможность контролировать расход шин по пробегу, а также в зависимости от качества и типа карьерных дорог, осуществлять мониторинг расхода ГСМ в привязке как к пробегу автотранспорта, так и по среднему преодолеваемому уклону в отчетный период. Анализ полученной информации позволяет выявить недостатки и внести коррективы как в процесс организации ремонтных работ, так и в эксплуатационные режимы работы техники [1].

Развитие транспортных систем, включая карьерный транспорт, шло рука об руку с

совершенствованием систем технического обслуживания и ремонта (ТОиР). Если на ранних этапах ремонт проводился только после поломки, то со временем стало необходимо внедрять планово-предупредительные ремонты. К середине XX века в условиях растущей взаимосвязи транспорта и промышленности начались активные исследования в области календарного обслуживания, которое стало стандартом для большинства видов транспорта. Первоначально такой превентивный подход значительно повысил эффективность, но по мере усложнения техники и увеличения затрат на обслуживание его целесообразность стала вызывать вопросы.

Анализ статистики параметров функционирования систем календарного обслуживания гражданской авиации крупных мировых перевозчиков показал вариативность эффективности данной методики ТО и Р [10].

Результаты исследования

По результатам исследований был получен интересный вывод: планово-предупредительные ремонты для некоторых моделей самолетов практически не влияют на параметры надежности. При уменьшении времени межремонтных циклов отказы меняют свою структуру, но общая надежность остается на том же уровне. Все это заставило ведущих инженеров пересмотреть принципы планирования ТО и Р применительно к авиатранспорту. Как результат, появилась стратегия «Airline/Manufacturer Maintenance Program Planning», что в отечественной интерпретации звучит как «Техническое обслуживание, ориентированное на безотказность», и регулируется ГОСТ-53480-2009. Система анализирует характеристики объекта, виды нарушений конечных функций и сама устанавливает эффективную периодичность ТО и Р. В сфере обеспечения надежности такой подход часто классифицируют как «третье поколение», а практическое использование ведущими мировыми авиаперевозчиками подчеркивает продуктивность данной концепции.

Обсуждение

Тем не менее, система карьерного транспорта обладает уникальными особенностями, ограничивающими возможности использования подобной методики. К некоторым машинам, работающим в круглосуточном режиме в тяжелых эксплуатационных условиях, такой подход малоэффективен ввиду непрерывного режима работы, требований к обеспечению запасными частями (часто крупногабаритными и мелкосерийными), развития диагностической базы (основа системы ТО и Р современного предприятия). При наличии требований обеспечения коэффициента технической

готовности на уровне до 90% и эксплуатации при непрерывном абразивном износе существенным обстоятельством выступают и требования к обслуживающему персоналу. Кадры должны не только обладать высокой квалификацией, но также обеспечивать определенный уровень трудовой и технологической дисциплины. В условиях социальной напряженности ряд предприятий столкнулся с кадровой проблемой, являющейся дополнительным ограничителем в осуществлении реализации функций системы.

Выводы

На сегодняшний день процессы технологической, экономической и социальной интеграции во многом стирают грани между государствами, отраслями промышленности, социальными группами. Качественный скачок в аспекте скорости распространения и доступности информации обуславливает глобальные процессы движения капитала, людей и технологий. Вместе с тем применение искусственного интеллекта, развитие систем спутникового мониторинга и новые современные подходы к планированию ТО и Р транспортных систем, опирающиеся не только на классические математические вероятностные модели, но и на новейшие достижения в области диагностики, создают предпосылки для создания новых подходов в стратегии обеспечения надежности горно-транспортного оборудования. Переход на «третье поколение» систем ТО и Р должен осуществляться не по готовым шаблонам мировых лидеров в данной области, а с учетом накопленного опыта в условиях работы отечественных предприятий (как положительного, так и отрицательного).

Глобализация оказывает колоссальное влияние на формирование современного мира, во многом обуславливает развитие науки и техники, в частности, и систем карьерного транспорта. Тем не менее, в 21 веке тенденции деглобализации, ориентированность на собственное производство и культурную идентичность заручаются поддержкой все большей части общества. Национальные интересы, определяемые в том числе качеством жизни населения промышленных регионов, являются приоритетными. С этих позиций экология, эргономика и социальные аспекты должны оказывать существенное влияние на развитие транспортных технологий на открытых горных работах. Правовое регулирование на государственном уровне должно накладывать граничные условия в системы обеспечения надежности как на уровне ее эксплуатации, так и на уровне проектирования. При определенном снижении уровня инвестиционной привлекательности системы как таковой создание регионов устойчивого развития

является целью инноваций в долгосрочной перспективе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Герике Б. Л., Артамонов П. В. Фазы развития систем организации и управления карьерным автотранспортом // Вестник КузГТУ. 2013. № 3. С. 116–119.
2. Залядинов В. Ю. Оценка устойчивости функционирования горнотехнической системы открытой геотехнологии на основе интегрального показателя горных возможностей // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова. 2024. Т.22. № 2. С. 5–13.
3. Бурмистров К. В., Осинцев Н. А., Рахмангулов А. Н., Юсупов М. Э. Многокритериальный анализ стратегий устойчивого развития глубоких карьеров // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2023. Т. 334. № 12. С. 76–96.
4. Воронов А. Ю., Хорешок А. А., Воронов Ю. Е. [и др.] Оптимизация параметров экскаваторно-автомобильных комплексов разрезов // Горная промышленность. 2022. № 5. С. 92–98.
5. Воронов А. Ю., Хорешок А. А., Воронов Ю. Е. [и др.] Оценка качества работы экскаваторно-автомобильных комплексов разрезов Кузбасса // Горное оборудование и электромеханика. 2020. № 2 (148). С. 19–26.
6. Артамонов П. В. Влияние эксплуатационных факторов на параметры долговечности металлоконструкций большегрузных карьерных автосамосвалов // Горное оборудование и электромеханика. 2010. № 5. С. 43–47.
7. Кузнецов И. В., Моисеева Е. В. Актуальность методик оценки энергоемкости экскаваторных работ в горной промышленности // Сборник материалов XIII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Россия Молодая». Редколлегия: К. С. Костиков (отв. ред.) [и др.]. Кемерово, 2021. С. 63002.1-63002.3.
8. Паначев И. А., Кузнецов И. В., Сидельников С. А. Мониторинг условий эксплуатации экскаваторно-автомобильных комплексов на разрезах Кузбасса // Перспективы инновационного развития угольных регионов России. Сборник трудов V Международной научно-практической конференции. Ответственные редакторы Пудов Е. Ю., Клаус О. А. 2016. С. 195–197.
9. Липина С. А., Закондырин А. Е., Липина А. В. Совершенствование системы управления организационным процессом обеспечения экологической безопасности при формировании природно-техногенных массивов в угледобывающих регионах России // Экономика и

управление инновациями. Научно-практический журнал. 2025. № 1. С. 52–60. DOI: 10.26730/2587-5574-2025-1-52-60.

10. Скворцов Д. Б. 9 принципов передового технического обслуживания // Журнал Prostoev.NET. 2016. Т. 16. № 3.

11. Плакиткина Л. С. Монография «Анализ и перспективы развития угольной промышленности основных стран мира, бывшего СССР и России в период до 2030 г.» М. : Горная промышленность, 2013. 416 с.

12. BP Statistical Review of World Energy 2018. bp.com/ statistical review, 2018. [Электронный ресурс]. URL: www.bp.com

13. Экологические проблемы угледобывающих регионов. [Электронный ресурс]. Федеральная служба по надзору в сфере природопользования. URL: https://rpn.gov.ru/upload/ecology_problems.pdf

14. Доклад о состоянии окружающей среды Кемеровской области в 2018 году. Кемерово: Администрация Кемеровской области. Департамент природных ресурсов и экологии Кемеровской области, 2019. 472 с.

15. Mondal D., Garai T., Roy G. C., Alam S. The design and evaluation of a picture fuzzy mining safety system with picture fuzzy differential equations // Decis. Anal. J. 2023. № 9. DOI: 10.1016/j.dajour.2023.100322.

16. Mohtasham M., Mirzaei-Nasirabad H., Askari-Nasab H., Alizadeh B. A multi-objective model for fleet allocation schedule in open-pit mines considering the impact of prioritising objectives on transportation system performance // Int. J. Min. Reclam. Env. 2021. № 35. Pp. 709–727. DOI: 10.1080/17480930.2021.1949861.

17. Elagouz N., Onat N.C., Kucukvar M., Kharbeche M., Kuty A.A. Sustainable technology transition in bus fleet management: Integrating life cycle sustainability assessment and multi-objective optimization // Technol. Forecast. Soc. Change. 2025. № 212. DOI: 10.1016/j.techfore.2024.123899.

18. Wang Q., Gu Q., Li X., Xiong N. Comprehensive overview: Fleet management drives green and climate-smart open pit mine // Renew. Sustain. Energy Rev. 2024. № 189. Art. 113942. DOI: 10.1016/j.rser.2023.113942.

© 2026 Авторы. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Об авторах:

Кузнецов Илья Витальевич, заведующий кафедрой строительных конструкций, водоснабжения и водоотведения, кандидат технических наук, доцент, Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева (Россия, 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28), e-mail: kiv.sm@kuzstu.ru

Артамонов Павел Викторович, доцент кафедры НЗ «Механика деформируемого твердого тела», Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д. Ф. Устинова, (Россия, 190005, г. Санкт-Петербург, ул. 1-я Красноармейская, д.1), e-mail: artamonov_pv@voenmeh.ru

Холодов Виктор Сергеевич, магистр кафедры НЗ "Механика деформируемого твердого тела", Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д. Ф. Устинова, (Россия, 190005, г. Санкт-Петербург, ул. 1-я Красноармейская, д.1), e-mail: kholodov_vs@voenmeh.ru

Заявленный вклад авторов:

Кузнецов Илья Витальевич – научный менеджмент, концептуализация исследования, сбор и анализ данных, выводы.

Артамонов Павел Викторович – постановка исследовательской задачи, выводы, написание текста.

Холодов Виктор Сергеевич – проведение исследований, обработка результатов, обзор соответствующей литературы.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Original article

OPTIMIZATION OF THE RELIABILITY ASSURANCE STRATEGY FOR MINING TRANSPORT COMPLEXES IN OPEN-PIT MINING IN THE CONTEXT OF GLOBALIZATION

Iliya V. Kuznetsov¹, Pavel V. Artamonov², Viktor S. Kholodov²¹ T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University² D.F. Ustinov Baltic State Technical University "VOENMEH"

* for correspondence: artamonov_pv@voenmeh.ru



Article info

Received:

26 March 2026

Accepted for publication:

01 September 2026

Accepted:

15 September 2026

Keywords: reliability of mining technical systems, excavator-truck complex, satellite navigation systems, quarry transport, quarry dispatching, artificial intelligence

Abstract.

The modern world is changing rapidly, and adapting to these changes is one of the fundamental challenges for contemporary individuals, both on a personal level and at the level of social groups and society as a whole. The development of science and technology occupies a significant place in the process of comprehending modern realities. Significant factors determining the current pace of scientific and technological progress include economic and organizational factors (increased demand from production, development of the material and technical base for research, interdisciplinary of scientific inquiries, presence of a competitive environment, etc.), as well as social and technological factors. The immense increase in the speed of information dissemination, the application of artificial intelligence, and the digitalization of data create prerequisites for the emergence of a societal demand for integration and socialization under the conditions of the need for harmonious existence in the techno sphere. For a number of energy-producing regions of our country, the ongoing process of rethinking traditional approaches to the mining complex, taking into account environmental, social, and ergonomic aspects, is vitally necessary. At present, the need for an integrated approach in optimizing the operation of mining enterprises is becoming increasingly evident, determined, in particular, by the choice of a strategy for ensuring the reliability of mining and transport equipment for open-pit operations. In this case, the crucial criterion of economic feasibility must be aligned and adjusted both with the ergonomic criterion (man-machine-environment) and with the social situation in the region under consideration. The article examines issues of mutual integration of transport and mining systems, comparative analysis of choosing a strategy for ensuring the reliability of mining and transport equipment, taking into account current characteristics and capabilities of the techno sphere: globalization, digitalization, application of artificial intelligence both in quarry dispatching systems and in the organization of maintenance and repairs of machinery.

For citation: Kuznetsov I.V., Artamonov P.V., Kholodov V.S. Optimization of the reliability assurance strategy for mining transport complexes in open-pit mining in the context of globalization. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*=Bulletin of the Kuzbass State Technical University. 2026; 4(176):155-163. (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1999-4125-2026-4-155-163, EDN: SSAOUL

REFERENCES

1. Gerike B.L., Artamonov P.V. Phases of Development of Systems for Organization and Management of Quarry Motor Transport. *Bulletin of KuzSTU*. 2013; 3:116-119.
2. Zalyalinov V.Yu. Assessment of the Functioning Stability of the Mining System of Open Pit Geotechnology Based on the Integral Indicator of Mining Capabilities. *Bulletin of the Novosibirsk State Technical University*. 2024; 22(2):5-13.

3. Burmistrov K.V., Osintsev N.A., Rakhmangulov A.N., Yusupov M.E. Multi-Criteria Analysis of Strategies for Sustainable Development of Deep Open Pits. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*. 2023; 334(12):76-96.
4. Voronov A.Yu., Khoreshek A.A., Voronov Yu.E. [et al.] Optimization of Parameters of Excavator and Truck Complexes in Open-Pit Mines. *Russian Mining Industry*. 2022; 5:92-98.

5. Voronov A.Yu., Khoreshok A.A., Voronov Yu.E. [et al.] Assessment of the Performance Quality of Excavator and Truck Complexes in Kuzbass Open-Pit Mines. *Mining Equipment and Electromechanics*. 2020; 2(148):19-26.
6. Artamonov P.V. Influence of Operational Factors on the Durability Parameters of Metal Structures of Heavy-Dump Trucks. *Mining Equipment and Electromechanics*. 2010; 5:43-47.
7. Kuznetsov I.V., Moiseeva E.V. Relevance of Methods for Assessing the Energy Intensity of Excavator Operations in the Mining Industry. *Collection of Materials of the XIII All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation «Young Russia»*. Editorial Board: K.S. Kostikov (Executive Editor) [et al.]. Kemerovo, 2021. Pp. 63002.1-63002.3.
8. Panachev I.A., Kuznetsov I.V., Sidelnikov S.A. Monitoring of Operating Conditions of Excavator and Truck Complexes in Kuzbass Open-Pit Mines. *Prospects for Innovative Development of Coal Regions of Russia*. Proceedings of the V International Scientific and Practical Conference. Executive Editors Pudov E. Yu., Klaus O. A. 2016. Pp. 195-197.
9. Lipina S.A., Zakondyryn A.E., Lipina A.V. Improving the Management System of the Organizational Process of Ensuring Environmental Safety during the Formation of Natural and Man-Made Massifs in Coal-Mining Regions of Russia. *Economics and Innovation Management. Scientific and Practical Journal*. 2025; 1:52-60. DOI: 10.26730/2587-5574-2025-1-52-60
10. Skvortsov D.B. 9 Principles of Advanced Maintenance. *Prostoev.NET Journal*. 2016; 16(3).
11. Plakitkina L.S. Monograph "Analysis and Prospects for the Development of the Coal Industry in the Main Countries of the World, the Former USSR, and Russia Through 2030." Moscow: Mining Industry; 2013. 416 p.
12. BP Statistical Review of World Energy 2018. bp.com/statisticalreview, 2018. [Electronic resource]. URL: www.bp.com
13. Environmental Problems of Coal Mining Regions. [Electronic resource]. Federal Service for Supervision of Natural Resources. URL: https://tpn.gov.ru/upload/ecology_problems.pdf
14. Report on the State of the Environment of the Kemerovo Region in 2018. Kemerovo: Administration of the Kemerovo Region. Department of Natural Resources and Ecology of the Kemerovo Region, 2019. 472 p.
15. Mondal D., Garai T., Roy G.C., Alam S. The design and evaluation of a picture fuzzy mining safety system with picture fuzzy differential equations. *Decis. Anal. J.* 2023; 9. DOI: 10.1016/j.dajour.2023.100322.
16. Mohtasham M., Mirzaei-Nasirabad H., Askari-Nasab H., Alizadeh B. A multi-objective model for fleet allocation schedule in open-pit mines considering the impact of prioritising objectives on transportation system performance. *Int. J. Min. Reclam. Env.* 2021; 35:709-727. DOI: 10.1080/17480930.2021.1949861.
17. Elagouz N., Onat N.C., Kucukvar M., Kharbeche M., Kutty A.A. Sustainable technology transition in bus fleet management: Integrating life cycle sustainability assessment and multi-objective optimization. *Technol. Forecast. Soc. Change*. 2025; 212. DOI: 10.1016/j.techfore.2024.123899.
18. Wang Q., Gu Q., Li X., Xiong N. Comprehensive overview: Fleet management drives green and climate-smart open pit mine. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2024; 189. Art. 113942. DOI: 10.1016/j.rser.2023.113942.

© 2026 The Authors. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

The authors declare no conflict of interest.

About the authors:

Iliya V. Kuznetsov, Head of the Department of Building Structures, Water Supply and Sanitation, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University (Russia, 650000, Kemerovo, Vesennaya str., 28), e-mail: kiv.sm@kuzstu.ru

Pavel V. Artamonov, Associate Professor of the Department of N3 "Mechanics of Deformable Solids", D. F. Ustinov Baltic State Technical University "VOENMEH", (Russia, 190005, Saint Petersburg, 1st Krasnoarmeyskaya str., 1), e-mail: artamonov_pv@voenmeh.ru

Viktor S. Kholodov, Master of the Department of N3 "Mechanics of Deformable Solids", D. F. Ustinov Baltic State Technical University "VOENMEH", (Russia, 190005, Saint Petersburg, 1st Krasnoarmeyskaya str., 1), e-mail: kholodov_vs@voenmeh.ru

Contribution of the authors:

Iliya V. Kuznetsov – scientific management, conceptualization of research, collection and analysis of data, conclusions.

Pavel V. Artamonov – setting a research task, conclusions, writing a text.

Viktor S. Kholodov – conducting research, processing results, reviewing relevant literature.

All authors have read and approved the final manuscript.

