

## Научная статья

УДК 629.017:629.018+629.3.027.3

DOI: 10.26730/1816-4528-2025-3-69-79

Дианов Вадим Андреевич<sup>1,2</sup>, Бокарев Александр Игоревич<sup>1</sup>, Карташов Александр Борисович<sup>1</sup>,  
Дубинкин Дмитрий Михайлович<sup>3,\*</sup>, Пашков Дмитрий Алексеевич<sup>3</sup>

<sup>1</sup> МГТУ им. Н. Э. Баумана, НОЦ «КАМАЗ-БАУМАН»

<sup>2</sup> Набережночелнинский институт КФУ

<sup>3</sup> Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева

\* для корреспонденции: ddm.tm@kuzstu.ru

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГРАФА ДЛЯ СХЕМАТИЗАЦИИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЙ КАРЬЕРНЫХ САМОСВАЛОВ

### Аннотация.

Практика проектирования вновь разрабатываемых самосвалов, так же, как и машин в целом, базируется и коррелирует с реальными условиями эксплуатации. Данные о реальных условиях эксплуатации имеют широкое применение. Однако общая проблема заключается в практической сложности обработки больших массивов данных для последующего применения их в процессе проектирования. Многие исследователи описывали взаимосвязь дорожного покрытия, динамических нагрузок и долговечности узлов карьерных самосвалов. В рамках данной статьи предлагается демонстрация способа обработки большого объема данных испытаний для возможности использования получаемого результата в системах разработки продукта, например, для потенциального развития расчетного-экспериментального способа прогнозирования ресурса компонентов несущей системы. Данная работа посвящена поиску способа для наилучшего представления, обработки и усреднения эксплуатационных показателей карьерных самосвалов, которые испытывались длительное время. На данный момент не существует единого алгоритма обработки и использования результатов испытаний, поэтому авторы статьи решили предложить свой способ схематизации результатов испытаний, который в дальнейшем может использоваться для решения как общих, так и частных задач. Использование графовой схематизации позволяет дополнять граф новыми видами информации или группировать их различными способами в зависимости от решаемой задачи. Ранее данные телеметрии рассматривались отдельно, но теперь есть возможность на основе данных телеметрии дополнить граф количеством проездов по тому или иному ребру графа. Также можно рассматривать не отдельные ребра, а их последовательность – маршрут движения. Таким образом, граф помимо данных испытаний содержит в себе еще и информацию о количестве проездов по дорогам за более длительный период времени и эти данные можно дополнять по мере поступления новой информации. Основной целью исследования является разработка эффективного метода обработки данных, полученных в ходе испытаний карьерных самосвалов. Такой подход позволит не только улучшить понимание характера нагрузок, но и оптимизировать процессы эксплуатации и технического обслуживания данной техники



### Информация о статье

Поступила:

05 апреля 2025 г.

Одобрена после

рецензирования:

30 апреля 2025 г.

Принята к печати:

20 июня 2025 г.

Опубликована:

05 июня 2025 г.

### Ключевые слова:

графовые модели, карьерные самосвалы, данные телеметрии, вибрационный анализ, путевая область, оптимизация маршрутов

**Для цитирования:** Дианов В. А., Бокарев А. И., Карташов А. Б., Дубинкин Д.М., Пашков Д. А. Использование графа для схематизации результатов испытаний карьерных самосвалов // Горное оборудование и электромеханика. 2025. № 3 (179). С. 69-79. DOI: 10.26730/1816-4528-2025-3-69-79, EDN: EEJYXU

### Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по соглашению от 30.09.2022 г. №075-15-2022-1198 с ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева» Комплексной научно-технической программы полного ин-

## Введение

Карьерные самосвалы эксплуатируются в сложных условиях, характеризующихся значительными перепадами температур, высокой запыленностью, повышенной влажностью или, наоборот, засушливостью, а также неровностями дорожного покрытия. Эти факторы оказывают существенное влияние на техническое состояние транспортных средств, их износ и общую производительность. Особое внимание уделяется качеству дорожного покрытия, поскольку оно напрямую связано с динамическими нагрузками, возникающими при движении самосвалов. Неровности, выбоины и недостаточная плотность покрытия приводят к увеличению вибраций и ударных воздействий на ходовую часть и несущую систему самосвала, что ускоряет износ узлов и агрегатов.

Многие исследователи, в числе которых Зырянов Н. В. [1], Доронин С. В. [2], Астахова Т. В. [3], Испеньков С. А. и Ракицкий А. А. [4], а также Арфьев С. А. [5], исследовали взаимосвязь дорожного покрытия, динамических нагрузок и долговечности узлов карьерных самосвалов. Качество дорожного покрытия является ключевым фактором, определяющим величину динамических нагрузок, действующих на карьерный самосвал. Динамические нагрузки возникают вследствие взаимодействия колес транспортного средства с неровностями дороги, что приводит к колебаниям и ударам, передаваемым на конструкцию машины. Чем хуже состояние дорожного полотна, тем выше амплитуда и частота этих нагрузок. Это не только увеличивает механические напряжения в элементах конструкции, но и способствует ускоренному износу подвески, шин и других компонентов. Таким образом, поддержание высокого качества дорожного покрытия позволяет минимизировать динамические нагрузки и снизить вероятность преждевременного выхода оборудования из строя. Несмотря на то, что качество дорог в карьерах регламентируется нормативными документами [6] и [7], сотрудникам карьера не всегда удается строго им следовать. Например, качество дорог в зимнее время года значительно лучше, чем весной или осенью.

Динамические нагрузки оказывают прямое влияние на долговечность карьерных самосвалов. Постоянные вибрации и ударные воздействия приводят к накоплению усталостных повреждений в металлических конструкциях, что может вызвать образование трещин и деформаций. Кроме того, повышенные нагрузки ускоряют износ узлов трения, таких как подшипники, шарниры и рессоры. Это сокращает срок службы оборудования и увеличивает частоту проведения ремонтных работ. Помимо всего прочего, при движении карьерного самосвала

неудачной конструкции на определенной скорости частота вынужденных колебаний от дороги может совпадать с собственной частотой конструкции узлов, и тогда происходят явления резонанса, что еще сильнее изнашивает узлы карьерного самосвала. Снижение динамических нагрузок за счет улучшения качества дорожного покрытия или улучшения конструкции самого самосвала позволяет продлить их ресурс, уменьшить затраты на техническое обслуживание и повысить общую надежность техники.

Долговечность карьерных самосвалов напрямую связана с производительностью труда в карьере. Чем выше износ оборудования, тем чаще возникают простои, связанные с ремонтом и техническим обслуживанием. Это приводит к снижению объемов перевозки горной массы и увеличению затрат на эксплуатацию. Напротив, увеличение срока службы самосвалов за счет минимизации динамических нагрузок позволяет повысить их доступность и эффективность использования. Это, в свою очередь, способствует росту производительности труда, снижению себестоимости добычи полезных ископаемых и повышению экономической эффективности горнодобывающего предприятия. Таким образом, оптимизация условий эксплуатации карьерных самосвалов является важным фактором обеспечения устойчивой работы предприятия.

На основании работы [8] можно заключить – проблема локального трещинообразования актуальна для целого ряда семейств карьерных автосамосвалов, например, для карьерных автосамосвалов БЕЛАЗ. Данная проблема может быть частично или полностью решена следующими способами:

- производить расчет систем поддрессирования с целью снижения виброн нагруженности;
- разработать инструменты прогнозирования локального трещинообразования;
- развивать область виртуальных испытаний для отработки большей части недостатков конструкции до этапа производства.

Как было сказано ранее, не всегда получается поддерживать дороги в карьере в идеальном состоянии, поэтому вторым путем снижения динамических нагрузок является доработка конструкции карьерного самосвала. Доработка может происходить как у существующих моделей, так и при изначальном проектировании с учетом опыта эксплуатации аналогов. Снижение виброн нагруженности автосамосвала может привести к значительному росту долговечности ходовой части. Поэтому целесообразно проведение виртуальных испытаний динамической модели автосамосвала в сборе при проекти-

ровании ходовой части взамен итерационного изменения конструкции.

Практика проектирования вновь разрабатываемых самосвалов, так же, как и машин в целом, базируется и коррелирует с реальными условиями эксплуатации. Данные о реальных условиях эксплуатации имеют широкое применение. Однако общая проблема заключается в практической сложности обработки больших массивов данных для последующего применения их в процессе проектирования. В рамках данной статьи предлагается демонстрация способа обработки большого объема данных испытаний для возможности использования получаемого результата в системах разработки продукта, например, для потенциального развития расчетного-экспериментального способа прогнозирования ресурса компонентов несущей системы.

Данная работа посвящена поиску способа для наилучшего представления, обработки и усреднения эксплуатационных показателей карьерных самосвалов, которые были получены за длительное время эксплуатации. На данный момент не существует единого алгоритма обработки и использования результатов испытаний или телеметрии, поэтому авторы статьи решили предложить свой способ схематизации результатов испытаний или телеметрии, который в дальнейшем может использоваться для решения как общих, так и частных задач. Предложенный способ может масштабироваться и адаптироваться под решаемые задачи.

#### **Традиционные методы анализа**

Анализ нагруженности карьерных самосвалов является важной задачей для обеспечения их надежной и долговечной эксплуатации. Традиционные методы оценки нагруженности автомобилей включают в себя анализ виброускорений и/или использование динамометрических колес. Эти подходы позволяют получить данные о нагрузках, действующих на ключевые узлы и агрегаты транспортного средства, что особенно важно в условиях эксплуатации в карьерах, где техника подвергается экстремальным нагрузкам.

В колесной технике популярным и репрезентативным методом оценки нагруженности является использование динамометрических колес. Этот подход предполагает установку специальных датчиков, которые измеряют силы и моменты, действующие на колеса автомобиля. Динамометрические колеса позволяют получить точные данные о вертикальных, продольных и боковых нагрузках, что особенно важно для анализа работы подвески и трансмиссии. Этот метод также помогает оценить распределение нагрузки между осями, что является ключевым фактором для обеспечения устойчивости и управляемости транспортного средства. Кроме того, данные, полученные с помощью динамометрических колес, могут быть использованы для калибровки математических моделей, применяемых при проектировании и тестировании автомобилей.

В силу больших размеров карьерных самосвалов на рынке отсутствуют динамометрические колеса необходимого размера. Вместо этого на карьерных самосвалах возможно использовать второй

наиболее популярный способ – оценку нагруженности по виброускорениям. Этот метод основан на измерении колебаний, возникающих в различных частях самосвала при его движении по неровным поверхностям. Виброускорения регистрируются с помощью акселерометров, установленных на раме, подвеске, кабине и других элементах конструкции. Полученные данные позволяют оценить интенсивность динамических нагрузок, которые воздействуют на транспортное средство. Анализ виброускорений особенно полезен для выявления резонансных частот и зон повышенного износа, что помогает оптимизировать конструкцию и повысить ресурс техники.

Традиционные методы анализа вибраций являются основой для диагностики технического состояния оборудования и выявления потенциальных неисправностей. Эти методы опираются на анализ сигналов вибрации, регистрируемых во временной области, и включают в себя оценку амплитудных, временных и статистических характеристик сигналов. Одним из наиболее распространенных подходов является анализ пиковой амплитуды вибрации, который позволяет выявить резкие изменения или ударные воздействия, характерные для таких дефектов, как повреждение подшипников, дисбаланс ротора или несоосность валов. Кроме того, среднеквадратичное значение (RMS) вибрации широко используется для оценки общего уровня вибрации и определения степени износа оборудования.

Еще одним важным методом является анализ формы сигнала, который позволяет визуально оценить характер вибрации и выявить аномалии, такие как периодические удары или нестационарные процессы. Этот метод особенно полезен для диагностики ранних стадий повреждений, когда частотные характеристики еще не проявляются явно. Также в традиционном анализе вибраций применяются статистические методы, такие как вычисление эксцесса и коэффициента амплитуды, которые помогают определить наличие импульсных составляющих в сигнале, характерных для локальных дефектов.

Несмотря на свою простоту, традиционные методы анализа вибраций во временной области остаются актуальными благодаря своей наглядности и возможности быстрой интерпретации результатов. Однако они имеют ограничения, связанные с трудностью выявления сложных дефектов, которые требуют более глубокого анализа в частотной или временно-частотной областях. Тем не менее, эти методы часто служат первым этапом диагностики, позволяя инженерам оперативно оценить состояние оборудования и принять решение о необходимости более детального анализа.

#### **Постановка проблемы**

Карьерные самосвалы работают в сложных условиях, где вибрации и нагрузки на компоненты напрямую зависят от особенностей маршрута и качества дорожного покрытия. Традиционные методы анализа вибраций во временной области не учитывают пространственные характеристики маршрута.

Карьер является ограниченной областью пространства с проложенными дорогами, большая часть из которых остаются неизменными длительный период времени. Общий вид карьерных дорог представлен на Рис. 1.

С одной стороны, дороги в карьере можно разделить на два типа:

- постоянные дороги, которые используются длительное время. Они прокладываются по стабильным участкам карьера. Обычно это основные магистрали, связывающие зоны добычи с пунктами разгрузки или переработки;
- временные дороги, которые прокладываются для доступа к новым участкам добычи. По мере выработки полезных ископаемых такие дороги могут переноситься или ликвидироваться.

Временные дороги в карьерах также могут существовать длительный промежуток времени – от полугода до нескольких лет. Это зависит от объема жилы полезных ископаемых, к которым прокладывается дорога. В открытом доступе можно найти несколько документов [9 и 10], которые разрабатываются профильными ведомствами до начала добычи полезных ископаемых. Проектная документация содержит в себе сведения об инженерном обеспечении, о сетях инженерно-технического обеспечения, перечень инженерно-технических мероприятий и содержание технологических решений.

Из проектной документации можно выяснить:

- проектную мощность добычи;
- тип, качество и форма дорог в карьере;
- местоположение прокладываемых дорог и их несущая способность;
- строительные материалы, используемые при

возведении дорог;

- списочный состав парка карьерных самосвалов;
- списочный состав экскаваторно-автомобильных комплексов.

Согласно СНиП 2.05.07-91 [7] дороги в карьере разделяются согласно их несущей способности. Также Бусел Б. У. в своей работе [11] разделяет дорожные условия эксплуатации по макропрофилю дорог на три категории:

- I класс. Постоянные технологические дороги со сроком службы до трех лет и объемом перевозок свыше 15–25 млн т брутто/год. Легкие и средние условия эксплуатации;
- II класс. Постоянные технологические дороги со сроком службы до трех лет и объемом перевозок менее 15–25 млн т брутто/год. Умеренно тяжелые условия эксплуатации;
- III класс. Временные технологические дороги в карьерах и на отвалах, проектируются по нормам дорог III-к категории независимо от объема перевозок. Тяжелые условия эксплуатации.

Чем больше пропускная способность дороги, тем лучше у нее должно быть качество покрытия, что отдельно отмечено в работах [11–15]. Таким образом, дороги в карьерах можно характеризовать по качеству дорожного покрытия, которое связано с классом дороги, но этой информации все еще недостаточно для комплексной оценки нагруженности компонентов карьерного самосвала.

#### **Графовое представление результатов испытаний**

Графовое представление данных является мощным инструментом для анализа и интерпретации



*Рис. 1. Общий вид карьерных дорог*

*Fig. 1. General view of quarry roads*



сложных взаимосвязей между различными параметрами, например, виброускорения и географические координаты. В контексте исследования вибрационных нагрузок на транспортные средства графовая модель позволяет визуализировать и анализировать множество величин, в том числе то, как виброускорения распределяются вдоль маршрута движения. Каждый узел графа может быть ассоциирован с конкретной точкой маршрута, а ребра – с изменениями различных величин (виброускорения, скорость) между соседними участками. Такой подход обеспечивает наглядное представление данных, что упрощает выявление закономерностей и аномалий в вибрационных характеристиках.

Ранее авторы в статье [17] анализировали эксплуатационные циклы карьерных самосвалов основываясь только на данных GPS сигнала из данных телеметрии. Результаты анализа приведены на Рис. 2. Анализ маршрутов движения карьерных самосвалов позволяет многое сказать об их эксплуатации, но эти данные нельзя связать с нагруженностью. Предлагаемая графовая схематизация карьерных дорог позволяет исправить этот нюанс и открывает новые возможности в анализе нагружен-

скорость движения, что дополнительно обогащает анализ и повышает его точность.

Преимущество графового подхода заключается также в его масштабируемости и гибкости. Графы могут быть дополнены дополнительными слоями информации, такими как данные о погодных условиях, типе транспортного средства или его загруженности. Это позволяет создавать комплексные модели, которые учитывают множество факторов, влияющих на виброускорения. Таким образом, графовое представление данных не только связывает виброускорения с конкретными участками маршрута, но и предоставляет инструмент для прогнозирования и оптимизации вибрационных нагрузок, что имеет важное значение для повышения безопасности и комфорта в транспортной отрасли.

Использование графового представления является возможным, поскольку карьер является замкнутой областью пространства с постоянными дорогами, и его можно описать набором узлов (тупики/перекрестки), которые связаны между собой ребрами (участок дороги). Схематизация карьера графовой моделью приведена на Рис. 3

Представленный граф имеет 117 узлов и 244 ре-

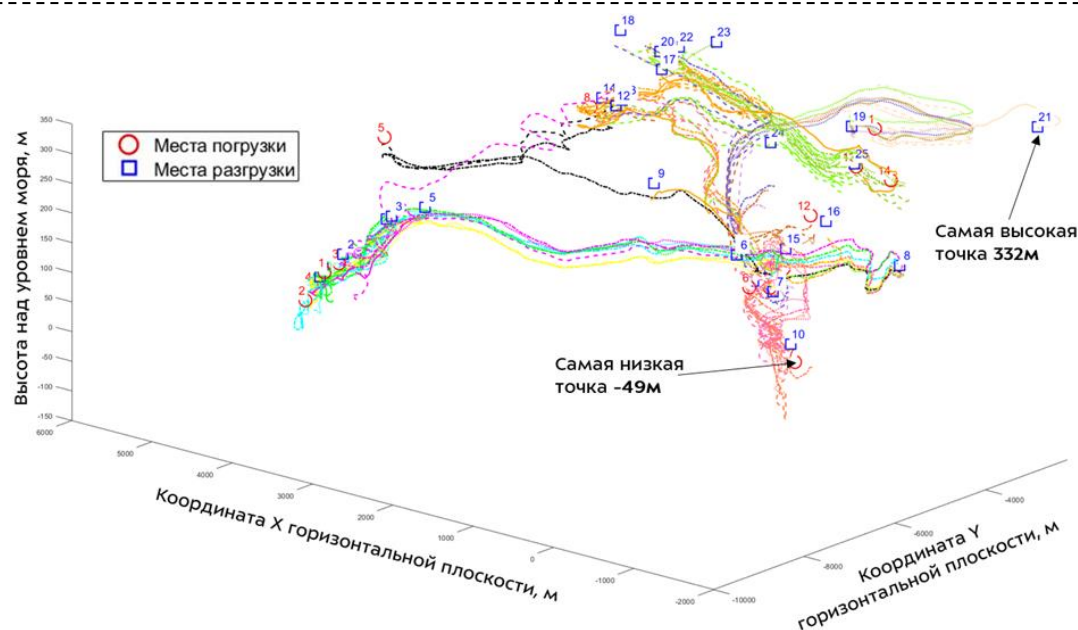


Рис. 2. Развертка карты горных работ по измеренным GPS координатам перемещений БелАЗ 7513 (по «углевозам» и «породовозам» совокупно)

Fig. 2. A scan of the mining map based on the measured GPS coordinates of the movements of BelAZ 7513 (by "carbon carriers" and "rock carriers" combined)

ности.

Использование графов для анализа виброускорений позволяет не только локализовать участки маршрута с повышенными вибрационными нагрузками, но и установить их причины. Например, ребра графа, соответствующие участкам дороги с неровным покрытием или резкими поворотами, могут демонстрировать значительные изменения виброускорений. Это делает графовое представление особенно полезным для диагностики состояния дорожной инфраструктуры и оценки ее влияния на транспортные средства. Кроме того, графы позволяют учитывать временные параметры, такие как

бра. Большая часть ребер графа является двунаправленными, но для большей точности представления в районе круговых движений были добавлены однонаправленные ребра.

В теории графов ребра могут быть однонаправленными (ориентированными) или двунаправленными (неориентированными). Однонаправленные ребра задают направление связи между вершинами, то есть движение возможно только в одну сторону – от начальной вершины к конечной. Такие графы называются ориентированными и часто используются для моделирования систем с односторонними зависимостями, например, дорог с односторонним

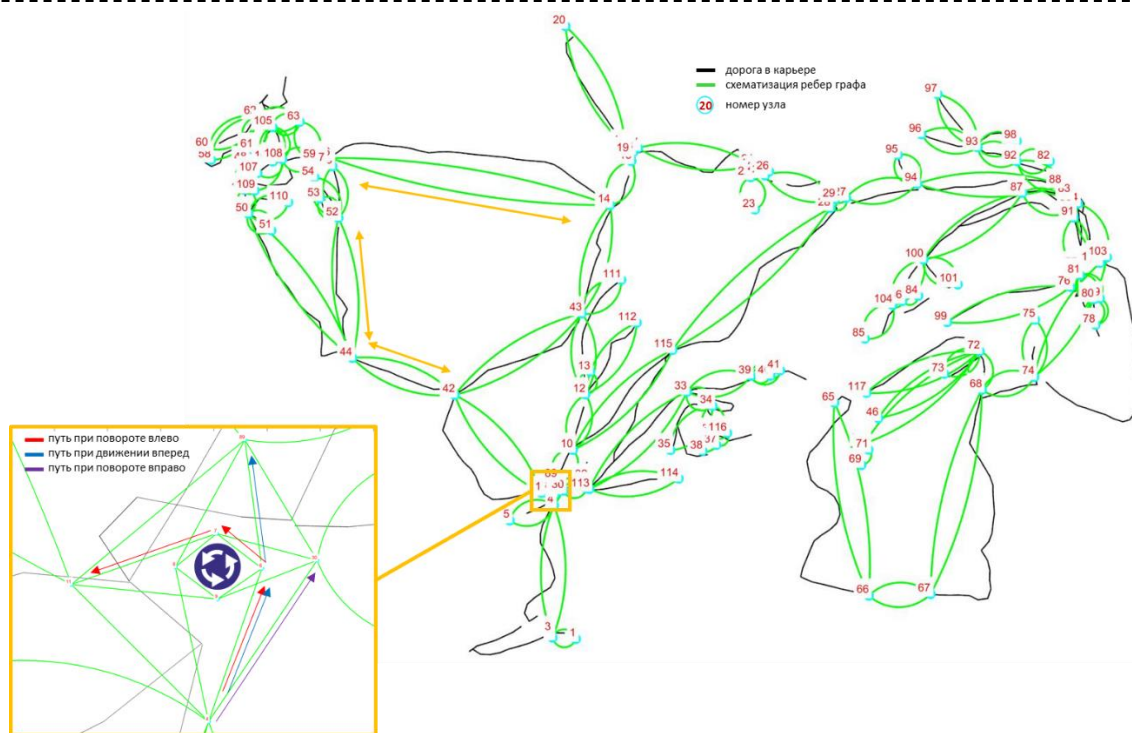


Рис. 3. Схематизация карьера графовой моделью  
Fig. 3. Schematization of a career with a graph model

движением или потоков данных. Двухнаправленные ребра, напротив, не имеют направления и позволяют перемещаться между вершинами в обе стороны. Выбор типа ребра зависит от задачи и характера связей между объектами.

Усредненный цикл работы карьерного самосвала можно представить в виде цепочки действий: погрузка – движение в полной массе – разгрузка – движение в снаряженной массе. Данные, записываемые системой телеметрии, можно разбить на участки, основываясь на показаниях GPS датчика, так можно установить соответствие с ребрами графа. Также данные можно разделить по весовому

состоянию самосвала. Данные во время погрузки/разгрузки соответствуют узлу графа. Таким образом, любой маршрут движения карьерного самосвала можно представить набором компонентов графа: узел (погрузка) – последовательность ребер (данные движения в полной массе) – узел (разгрузка) – последовательность ребер (данные движения в снаряженной массе).

Типовой маршрут движения карьерного самосвала представлен на Рис. 4.

При повседневной эксплуатации карьерного самосвала он может проезжать по одному и тому же участку дороги множество раз, следовательно, информация об этом ребре графа обогащается. На Рис. 5 представлены

графики скорости движения, построенные в координатах пройденного пути (длины ребра графа). По результатам нескольких проездов (4 шт. для графика «а» и 13 шт. для графика «б») одного и того же ребра графа наблюдается корреляция между скоростью движения и географическим положением самосвала. Красной пунктирной линией представлено усредненное значение скорости самосвала при движении по дороге, соответствующей выбранному ребру графа. При анализе графиков скорости всей записи маршрута движения самосвала в координатах времени представленная корреляция не просматривается.

**Дополнение графовой схематизации данными телеметрии**

Использование графовой схематизации позволяет дополнять граф но-

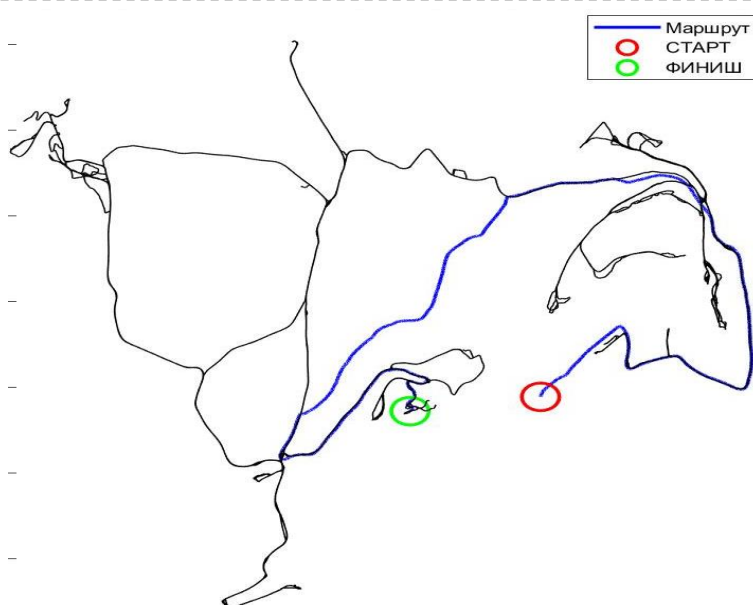


Рис. 4. Типовой маршрут движения  
Fig. 4. Typical driving route

выми видами информации или группировать их различными способами в зависимости от решаемой задачи. Ранее данные телеметрии разбивались на конкретные маршруты движения и рассматривались отдельно, но теперь есть возможность на основе данных телеметрии дополнить граф количеством проездов по тому или иному ребру. Также можно

рассматривать не отдельные ребра, а их последовательность – маршрут движения. Таким образом, граф как некая структура хранит множество полезной информации об эксплуатации карьерных самосвалов. Эти данные можно дополнять по мере поступления новой информации, например, дополнить его результатами испытаний.

По данным телеметрии за полгода работы двух

самосвалов различной направленности (углевоз и породовоз) удалось определить множество маршрутов движения. Данные по маршрутам движения приведены в Таблице 1. На Рис. **Ошибка! Источник ссылки не найден.** представлено распределение проездов самосвалами ребер графа в графическом виде.

Благодаря графическому представлению информации можно определить наиболее часто используемые участки дороги в зависимости от типа самосвала и его весового состояния.

### Выводы

В контексте исследования вибрационных нагрузок на транспортные средства графовая модель позволяет визуализировать и анализировать, как виброускорения распределяются вдоль маршрута

движения. Преимущество графового подхода заключается также в его масштабируемости и гибкости. Графы могут быть дополнены дополнительными слоями информации, такими как данные о погодных условиях, типе транспортного средства или его загруженности.

Для составления полного графа, соответствующего карьере, минимально необходимо проехать все дороги карьера в двух весовых состояниях, а также посетить каждый пункт погрузки/разгрузки. Но данные требования сложно выполнить, поскольку горнодобывающей компании рациональнее продолжить эксплуатацию самосвала в повседневном режиме для сохранения уровня добычи. Но также можно обработать показания телеметрии за более длительный период времени, чтобы при повседневной эксплуатации охватить больше дорог карьера.

В последнее время активно развиваются системы диспетчеризации карьеров, для работы которых на каждый самосвал устанавливают датчики GPS для отслеживания местоположения самосвала на маршруте [18–20]. При однократном проведении испытаний с большим количеством оборудования и последующем доступе к данным GPS самосвалов через систему диспетчеризации имеется возможность описывать технологические циклы с помощью комбинации ребер и узлов, для которых можно заранее рассчитать различные показатели (спектральная плотность мощ-

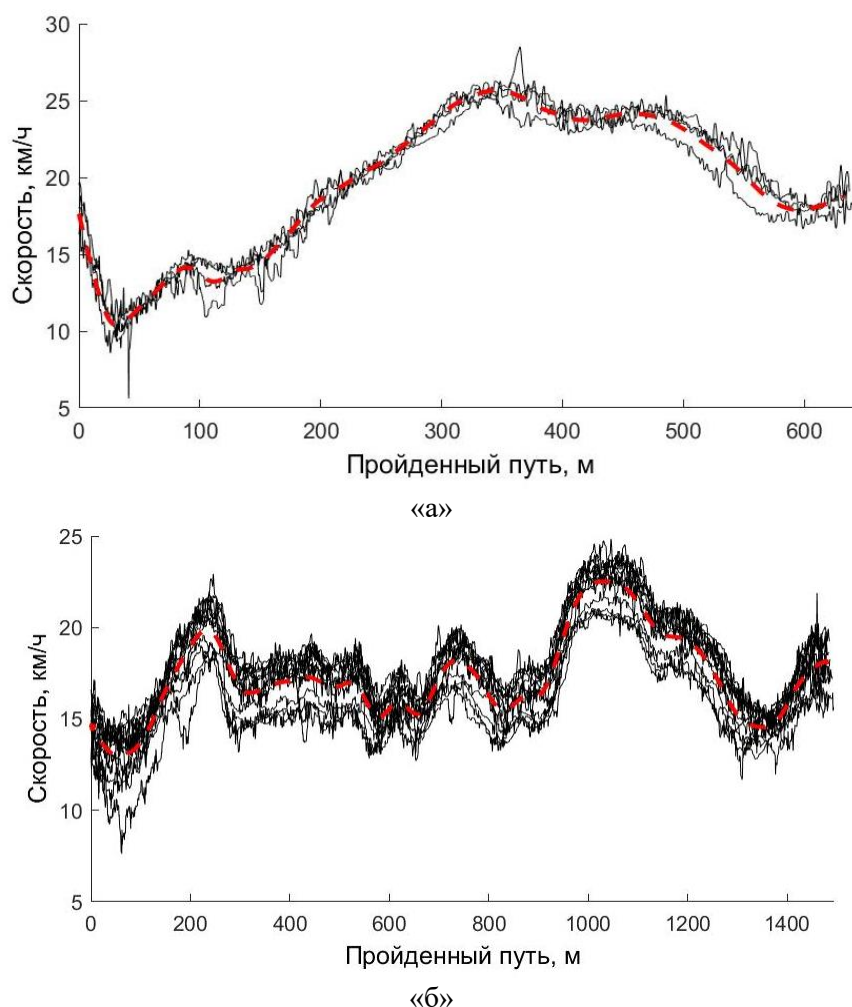


Рис. 5. Скорость движения карьерного самосвала в координатах пройденного пути

Fig. 5. The speed of movement of the dump truck in coordinates of the traveled path

Таблица 1. Данные телеметрии

Table 1. Telemetry data

|                            | Углевоз (БелАЗ-75138) |                     | Породовоз (БелАЗ-75131) |                     |
|----------------------------|-----------------------|---------------------|-------------------------|---------------------|
|                            | В полной массе        | В снаряженной массе | В полной массе          | В снаряженной массе |
| Количество маршрутов, шт   | 4 570                 | 3 546               | 3 220                   | 3 341               |
| Количество ребер графа, шт | 26 179                | 14 457              | 7 515                   | 6 914               |



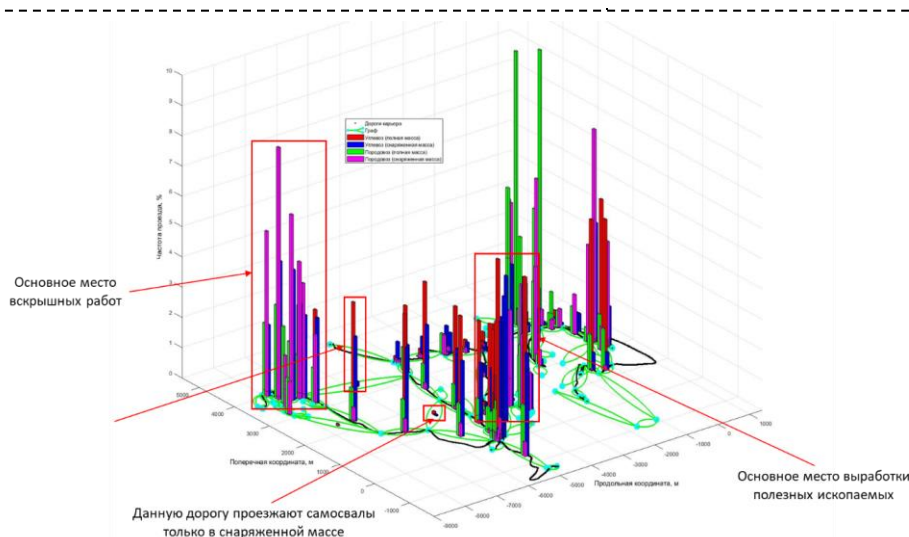


Рис. 6. Граф, дополненный данными телеметрии

Fig. 6. Graph supplemented with telemetry data

ности, накопленные псевдоповреждения, АЧХ, ФЧХ).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зырянов Н. В. Определение влияния динамической нагрузки на ресурс карьерных автосамосвалов: специальность 05.05.06 «Горные машины»: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. Санкт-Петербург, 1995. – 21 с.
2. Доронин С. В., Донцова Т. В. Статистические модели микропрофиля дорог технологического транспорта // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2011. № 3(31). С. 202–208.
3. Астахова Т. В. Повышение долговечности рам карьерных автосамосвалов на основе исследования их напряженно-деформированного состояния: специальность 05.05.06 «Горные машины»: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Красноярск, 2007. 200 с.
4. Испеньков С. А., Ракицкий А. А. Моделирование динамической нагруженности рам карьерных самосвалов // Вестник Оренбургского государственного университета. 2011. № 10(129). С. 174–180.
5. Арефьев С. А. Оценка и обоснование рациональных дорожных условий эксплуатации карьерных автосамосвалов большой грузоподъемности: специальность 25.00.22 «Геотехнология (подземная, открытая и строительная)»: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. 2015. 179 с.
6. Приказ Ростехнадзора от 10.11.2020 N 436 (ред. от 29.01.2024) Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности Правила безопасности при разработке угольных месторождений открытым способом (Зарегистрировано в Минюсте России 21.12.2020 N 61624)
7. СП 37.13330.2012 Промышленный транспорт. Актуализированная редакция СНиП 2.05.07-91\* (с Изменениями N 1, 2, 3, 4) Свод правил от 29.12.2011 N 37.13330.2012 Применяется с 01.01.2013 взамен СНиП 2.05.07-91\*
8. Зайцев Л. А., Бокарев А. И., Дианов В. А., Попов И. П. Анализ влияния вибронгруженности на долговечность ходовой части карьерных автосамосвалов // Инновации в информационных технологиях, машиностроении и автотранспорте : Сборник материалов VIII Международной научно-практической конференции, Кемерово, 21–23 ноября 2024 года. Кемерово: Кузбас-

ский государственный технический университет им. Т. Ф. Горбачева, 2024. С. 51–61.

9. 019.54-22-ИОС7.2 – Раздел 5. «Сведения об инженерном оборудовании, о сетях инженерно-технического обеспечения, перечень инженерно-технических мероприятий, содержание технологических решений». Подраздел 7. «Технологические решения». Часть 2. «Технологические решения». Режим доступа – <https://clck.ru/3GaHKB>. Дата обращения: 24.02.2025.

10. ДГР27-ИОС 7.2

– Раздел 5. «Сведения об инженерном оборудовании, о сетях инженерно-технического обеспечения, перечень инженерно-технических мероприятий, содержание технологических решений». Подраздел 7. «Технологические решения». Часть 2. «Технологические решения». Режим доступа – <https://clck.ru/3GaHF7>. Дата обращения: 24.02.2025.

11. Бусел Б.У. Категории карьерных дорог. // Автомобильная промышленность. Выпуск 2003/02. С. 15–25. ISSN: 0005-2337.

12. Журавлев А. Г., Черных В. В. Компьютерное моделирование при оценке влияния дорожных факторов на производительность карьерного автотранспорта // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2023. Т. 334, № 12. С. 20–31. DOI: 10.18799/24131830/2023/12/4308.

13. Буялич Г. Д., Фурман А. С. Исследование скоростных режимов движения карьерных автосамосвалов // Международный научно-исследовательский журнал. 2015. № 10–2(41). С. 22–25. DOI: 10.18454/IRJ.2015.41.064.

14. Пыталев И. А., Якшина В. В., Артюшин А. К., Маренков П. А. Исследования влияния типа дорожной одежды карьерных автодорог на производительность автосамосвала при использовании имитационного моделирования // Маркшейдерия и недропользование. 2024. № 4(132). С. 62–66. DOI: 10.56195/20793332\_2024\_4\_62\_66.

15. Дубинкин Д. М., Пашков Д.А. Импортонезависимость производства беспилотных карьерных самосвалов // Уголь. 2023. № 4(1166). С. 42–48. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-4-42-48.

16. Еркетаев Е. С. Исследование влияния режимов движения карьерных автосамосвалов на себестоимость перевозок горной массы // Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности: сборник трудов XIV международной научно-технической конференции «Чтения памяти В.Р. Кубачека» в рамках Уральской горнопромышленной декады, Екатеринбург, 07–08 апреля 2016 года / Лагунова Юлия Андреевна (отв. ред.). Екатеринбург : Уральский государственный горный университет, 2016. С. 467-470.

17. Бокарев А. И., Дианов В. А., Карташов А. Б., Арутюнян Г. А., Дубинкин Д.М., Пашков Д. А. Анализ показаний телеметрии при эксплуатации карьерных самосвалов грузоподъемностью 220



тонн // Горное оборудование и электромеханика. 2024. – № 5(175). С. 52–60. DOI: 10.26730/1816-4528-2024-5-52-60.

18. Клебанов Д. А. Разработка технико-технологических решений по созданию и применению роботизированных систем грузоперевозок на открытых горных работах: специальность 25.00.22 «Геотехнология (подземная, открытая и строительная)»: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. 2015. 145 с.

19. Дубинкин Д. М., Ялышев А.В. Определение параметров модели угля для имитационного моделирова-

ния погрузки и разгрузки грузовой платформы карьерного самосвала // Уголь. 2023. № S12(1175). С. 4–10. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-S12-4-10.

20. Воронов А. Ю. Оптимизация показателей эксплуатационной производительности экскаваторно-автомобильных комплексов разрезов / диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Специальности: 05.05.06 – «Горные машины» и 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ», Кемерово, 2015.

© 2025 Автор. 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:

**Дианов Вадим Андреевич** – конструктор, г. Москва, Российская Федерация, МГТУ им. Н. Э. Баумана, НОЦ «КАМАЗ-БАУМАН»; аспирант, г. Набережные Челны, Российская Федерация, Набережночелнинский институт КФУ; e-mail: vadianov@bmstu.ru

**Бокарев Александр Игоревич** – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, г. Москва, Российская Федерация, МГТУ им. Н. Э. Баумана, НОЦ «КАМАЗ-БАУМАН»; e-mail: bokarev@bmstu.ru

**Карташов Александр Борисович** – кандидат технических наук, директор центра, г. Москва, Российская Федерация, МГТУ им. Н. Э. Баумана, НОЦ «КАМАЗ-БАУМАН»; e-mail: kartashov@bmstu.ru

**Дубинкин Дмитрий Михайлович** – кандидат технических наук, доцент, Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева, 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28; ORCID 0000-0002-8193-9794, e-mail: ddm.tm@kuzstu.ru

**Пашков Дмитрий Алексеевич** – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева, 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28; e-mail: pashkovda@kuzstu.ru

Заявленный вклад авторов:

Дианов Вадим Андреевич – постановка исследовательской задачи, концептуализация исследования, анализ данных, подведение итогов, написание текста, обзор актуальной литературы, сбор данных. Бокарев Александр Игоревич – постановка исследовательской задачи, концептуализация исследования, анализ данных, подведение итогов, написание текста, обзор актуальной литературы, сбор данных.

Карташов Александр Борисович – постановка исследовательской задачи, концептуализация исследования, анализ данных, подведение итогов, написание текста, обзор актуальной литературы, сбор данных.

Дубинкин Дмитрий Михайлович – постановка исследовательской задачи, концептуализация исследования, анализ данных, подведение итогов, написание текста, обзор актуальной литературы, сбор данных.

Пашков Дмитрий Алексеевич – постановка исследовательской задачи, концептуализация исследования, анализ данных, подведение итогов, написание текста, обзор актуальной литературы, сбор данных.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

## Original article

DOI: 10.26730/1816-4528-2025-3-69-79

**Vadim A. Dianov<sup>1,2</sup>, Alexander I. Bokarev<sup>1</sup>, Aleksandr B. Kartashov<sup>1</sup>, Dmitry M. Dubinkin<sup>3,\*</sup>, Dmitry A. Pashkov<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Bauman Moscow State Technical University, KAMAZ-BAUMAN R&D

<sup>2</sup> Naberezhnye Chelny Institute of KFU

<sup>3</sup> T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University

\* for correspondence: ddm.tm@kuzstu.ru

## USING A GRAPH TO SCHEMATIZE THE TEST RESULTS OF MINING DUMP TRUCKS



Article info

### Abstract.

The practice of designing newly developed dump trucks, as well as machines in general, is based on and correlates with real operating conditions. Data on real operating conditions are widely used. However, the general problem is the practical complexity of processing large amounts of data for subsequent use in the design process. Many researchers have described the relationship between road surfaces,

Received:  
05 April 2025

Accepted for publication:  
30 April 2025

Accepted:  
20 June 2025

Published:  
26 June 2025

**Keywords:** graph models, quarry trucks, telemetry data, vibration analysis, track area, route optimization

dynamic loads and the durability of quarry dump truck units. This article proposes a demonstration of a method for processing a large amount of test data to be able to use the obtained result in product development systems, for example, for the potential development of a calculated-experimental method for predicting the resource of components of the supporting system. This work is devoted to finding a method for the best presentation, processing and averaging of the performance indicators of quarry dump trucks that have been tested for a long time. At the moment, there is no single algorithm for processing and using test results, so the authors of the article decided to offer their own method for schematizing test results, which can later be used to solve both general and specific problems. The use of graph schematization allows you to supplement the graph with new types of information or group them in different ways depending on the problem being solved. Previously, telemetry data was considered separately, but now it is possible to supplement the graph with the number of passes along a particular graph edge based on telemetry data. Also, you can consider not individual edges, but their sequence - the route of movement. Thus, in addition to test data, the graph also contains information on the number of passes along roads over a longer period of time, and this data can be supplemented as new information comes in. The main goal of the study is to develop an effective method for processing data obtained during tests of quarry dump trucks. This approach will not only improve the understanding of the nature of the loads, but also optimize the operation and maintenance processes of this equipment.

**For citation:** Dianov V.A., Bokarev A.I., Kartashov A.B., Dubinkin D.M., Pashkov D.A. Using a graph to schematize the test results of mining dump trucks. Mining Equipment and Electromechanics, 2025; 3(179):69-79 (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1816-4528-2025-3-69-79, EDN: EEJYXU

#### Acknowledgments

This work was financially supported by the Ministry of Science and Higher Education of Russian Federation under Agreement № 075-15-2022-1198 dated 30.09.2022 with the T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University on complex scientific and technical program of full innovation cycle «Development and implementation of complex technologies in the areas of exploration and extraction of solid minerals, industrial safety, bioremediation, creation of new deep conversion products from coal raw materials while consistently reducing the environmental impact and risks to human life» (the «Clean Coal – Green Kuzbass» Integrated Scientific and Technical Programme of the Full Innovation Cycle) as part of implementing the project «Development and creation of an unmanned shuttle-type mining dump truck with a payload of 220 tons» in terms of research, development and experimental-design work.

#### REFERENCES

1. Zyryanov N.V. Determination of the influence of dynamic loads on the resource of mining dump trucks: specialty 05.05.06 "Mining machines": abstract of the dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences. St. Petersburg, 1995. 21 p.
2. Doronin S. V., Dontsova T. V. Statistical models of the microprofile of technological transport roads. *Modern technologies. System analysis. Modeling*. 2011; 3(31):202–208.
3. Astakhova T. V. Improving the durability of dump truck frames based on the study of their stress-strain state: specialty 05.05.06 "Mining machines": dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences. Krasnoyarsk, 2007. – 200 p.
4. Ispenkov S. A., Rakitsky A. A. Modeling the dynamic loading of the frames of mining dump trucks. *Bulletin of the Orenburg State University*. 2011; 10(129):174–180.
5. Arefyev S.A. Assessment and justification of rational road conditions for the operation of heavy-duty dump trucks: specialty 25.00.22 "Geotechnology (underground, open and construction)": dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences, 2015. 179 p.
6. Rostekhnadzor Order No. 436 dated 11/10/2020 (as amended on 01/29/2024) On Approval of Federal Norms and Rules in the Field of Industrial Safety Safety Rules for the Development of Open-pit Coal Deposits (Registered with the Ministry of Justice of Russia on 12/21/2020 No. 61624)
7. SP 37.13330.2012 Industrial transport. Updated version of SNiP 2.05.07-91\* (with Amendments N 1, 2, 3, 4)

The set of rules dated December 29, 2011 N 37.13330.2012 Is applied from 01.01.2013 instead of SNiP 2.05.07-91\*

8. Zaitsev L.A., Bokarev A.I. Dianov V.A., Popov I.P. Analysis of the impact of vibration load on the durability of the undercarriage of dump trucks. *Innovations in information technology, mechanical engineering and motor transport: Proceedings of the VIII International Scientific and Practical Conference*. Kemerovo, November 21-23, 2024. Kemerovo : Kuzbass State Technical University named after T.F. Gorbachev, 2024. Pp. 51–61.

9. 019.54-22-IOC7.2 – Section 5. "Information about engineering equipment, engineering and technical support networks, list of engineering and technical measures, content of technological solutions". Subsection 7. "Technological solutions". Part 2. "Technological solutions". Access mode – <https://clck.ru/3GaHKB>. Date of request: 02/24/2025.

10. DGR27-IO5 7.2 – Section 5. "Information about engineering equipment, engineering and technical support networks, list of engineering and technical measures, content of technological solutions". Subsection 7. "Technological solutions". Part 2. "Technological solutions". Access mode – <https://clck.ru/3GaHF7>. Date of reference: 02/24/2025.

11. Busel B.U. Categories of quarry roads. *Automotive industry*. 2003; 02:15–25. ISSN: 0005-2337.

12. Zhuravlev A.G., Chernykh V.V. Computer modeling in assessing the impact of road factors on the productivity of quarry vehicles. *Proceedings of Tomsk Polytechnic University. Georesource engineering*. 2023; 334(12):20–31. DOI: 10.18799/24131830/2023/12/4308.

13. Buyalich G.D., Furman A.S. Investigation of high-speed modes of movement of mining dump trucks. *International Scientific Research Journal*. 2015; 10–2(41):22–25. DOI: 10.18454/IRJ.2015.41.064.

14. Pytalev I.A., Yakshina V.V., Artyushin A.K., Marenkov P.A. Studies of the influence of the type of pavement of quarry roads on dump truck performance using simulation modeling. *Surveying and subsurface use*. 2024; 4(132):62–66. DOI: 10.56195/20793332\_2024\_4\_62\_66.

15. Dubinkin D.M., Pashkov D.A. Import dependence of production of unmanned mining dump trucks. *Coal*. 2023; 4(1166); 42–48. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-4-42-48.

16. Yerketaev E.S. Investigation of the influence of the modes of movement of mining dump trucks on the cost of transportation of rock mass. *Technological equipment for the mining and oil and gas industry: proceedings of the XIV International Scientific and Technical Conference "Readings in memory of V.R. Kubachek" within the framework of the Ural Mining Decade*. Yekaterinburg, April 07-08, 2016 / Lagunova Yulia Andreevna (editor). Yekaterinburg: Ural State Mining University; 2016. Pp. 467–470.

17. Bokarev A.I., Dianov V.A., Kartashov A.B., Harutyunyan G.A., Dubinkin D.M., Pashkov D.A. Analysis of telemetry readings during operation of 220-ton dump trucks. *Mining equipment and electromechanics*. 2024; 5(175):52–60. DOI: 10.26730/1816-4528-2024-5-52-60.

18. Klebanov D.A. Development of technical and technological solutions for the creation and application of robotic cargo transportation systems in open-pit mining: specialty 25.00.22 "Geotechnology (underground, open-pit and construction)": dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences, 2015. 145 p.

19. Dubinkin D.M., Yalyshev A.V. Determination of coal model parameters for simulation of loading and unloading of a cargo platform of a dump truck. *Coal*. 2023; S12(1175):4–10. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-S12-4-10.

20. Voronov A.Y. Optimization of performance indicators of excavator-automobile complexes of sections / dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences / Specialties: 05.05.06 – "Mining machines" and 05.13.18 – "Mathematical modeling, numerical methods and software packages". Kemerovo, 2015.

© 2025 The Author. 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 author:

**Vadim A. Dianov** – Designer, Moscow, Russian Federation, Bauman Moscow State Technical University, KAMAZ-BAUMAN Research Centre; postgraduate student, Naberezhnye Chelny, Russian Federation, Naberezhnye Chelny Institute of KFU; e-mail: vadianov@bmstu.ru

**Alexander I. Bokarev** – Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, Moscow, Russian Federation, Bauman Moscow State Technical University, KAMAZ-BAUMAN Research Centre; e-mail: bokarev@bmstu.ru.

**Aleksandr B. Kartashov** – Candidate of Technical Sciences, Director of the Centre, Moscow, Russian Federation, Bauman Moscow State Technical University, KAMAZ-BAUMAN Research Centre; e-mail: kartashov@bmstu.ru.

**Dmitry M. Dubinkin** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Kemerovo, Russian Federation, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University; ORCID 0000-0002-8193-9794, e-mail: ddm.tm@kuzstu.ru

**Dmitry A. Pashkov** – Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, Kemerovo, Russian Federation, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University e-mail: pashkovda@kuzstu.ru

Contribution of the authors:

Vadim A. Dianov – research problem statement, research conceptualization, data analysis, summarizing, writing, review of current literature, data collection.

Alexander I. Bokarev – setting the research problem, conceptualization of the study, data analysis, summarizing, writing, review of current literature, data collection.

Aleksandr B. Kartashov – research problem statement, conceptualization of the study, data analysis, summarizing, writing, review of current literature, data collection.

Dmitry M. Dubinkin – statement of research problem, conceptualization of the study, data analysis, summarizing, writing, review of current literature, data collection.

Dmitry A. Pashkov – statement of research problem, conceptualization of the study, data analysis, summarizing, writing, review of current literature, data collection.

The claimed contribution of the authors:

Authors have read and approved the final manuscript.

