

Научная статья

УДК 622.684

DOI: 10.26730/1816-4528-2024-5-61-69

Дубинкин Дмитрий Михайлович*, Елкин Иван Сергеевич, Дубинкин Семен Дмитриевич,
Тургенев Илья Александрович

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева

*E-mail: ddm.tm@kuzstu.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ СКОРОСТНЫХ РЕЖИМОВ ДВИЖЕНИЯ КАРЬЕРНОГО САМОСВАЛА ГРУЗОПОДЪЕМНОСТЬЮ 220 Т**Информация о статье**

Поступила:

31 октября 2024 г.

Одобрена после
рецензирования:

15 ноября 2024 г.

Принята к печати:

22 ноября 2024 г.

Опубликована:

11 декабря 2024 г.

Ключевые слова:

GPS, открытые горные работы, карьерный самосвал, скорость движения карьерного самосвала, продольный профиль дороги.

Аннотация.

В статье рассматривается исследование скоростных режимов движения карьерного самосвала грузоподъемностью 220 т. Приводятся экспериментальные результаты полученные на разрезе Кузбасса с помощью специального оборудования установленного на карьерный самосвал грузоподъемностью 220 т. Исследованы маршруты движения карьерного самосвала на трассе разреза и распределения скоростных режимов движения карьерного самосвала грузоподъемностью 220 т в груженом и порожнем состоянии по маршрутам. Получены два маршрута движения карьерного самосвала в координатах XYZ. Установлены перепад высот над уровнем моря и среднее время движения карьерного самосвала. Приводятся статистические диаграммы скоростных режимов движения карьерного самосвала грузоподъемностью 220 т в груженом и порожнем состоянии по маршрутам. Результаты измерений скоростных режимов движения карьерного самосвала показывают большую вариацию значений мгновенной скорости в фиксированный момент времени и в заданной точке пространства, из-за стохастической природы транспортного процесса при влиянии на него большого числа факторов. Наименьшая скорость движения карьерного самосвала по всему маршруту «Пункт погрузки - Пункт разгрузки» появляется чаще, чем средние и наибольшие скорости, и отражает нежелательные результаты для производительности транспортного процесса. Наименьшая скорость движения карьерного самосвала свидетельствует о простоях под погрузку горной массы. Скоростные режимы движения карьерных самосвалов необходимо учитывать для оптимизации работы экскаваторно-автомобильных комплексов и при проектировании дорог на карьерах, что может привести к повышению производительности и снижению эксплуатационных затрат.

Для цитирования: Дубинкин Д.М., Елкин И.С., Дубинкин С.Д., Тургенев И.А. Исследование скоростных режимов движения карьерного самосвала грузоподъемностью 220 т // Горное оборудование и электромеханика. 2024. № 5 (175). С. 61-69. DOI: 10.26730/1816-4528-2024-5-61-69, EDN: VIEOKK

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 инновационного цикла «Разработка и внедрение комплекса технологий в областях разведки и добычи твердых полезных ископаемых, обеспечения промышленной безопасности, биоремедиации, создания новых продуктов глубокой переработки из угольного сырья при последовательном снижении экологической нагрузки на окружающую среду и рисков для жизни населения» (КНТП «Чистый уголь – Зеленый Кузбасс») в рамках реализации мероприятия «Разработка и создание беспилотного карьерного самосвала челночного типа грузоподъемностью 220 тонн» в части выполнения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ

Введение

Скорость движения карьерного самосвала (КС) по трассам разреза или карьера зависит от технических характеристик КС, дорожных и горнотехнических условий, квалификации водителя, загруженности КС и других факторов [1-15], которые оказывают влияние на производительность экскаваторно-автомобильных комплексов и себестоимость перевозок.

Получаемая информация в диспетчерском пункте по КС [12], позволяет контролировать и отслеживать скорость движения в реальном времени, а данные с GPS трекера фиксировать маршрут движения, что дает возможность анализировать эффективность работ, выявляя участки с задержками. В современных условиях оптимизация транспортных процессов в карьерах является важнейшей задачей для повышения эффективности добычи полезных ископаемых. Одним из ключевых показателей яв-

ляется скоростной режим движения КС, который напрямую влияет на производительность и себестоимость добычи. Исследование скоростных режимов движения КС является ключевым фактором для оптимизации транспортных процессов на разрезах и карьерах.

Постановка цели и задач

Целью работы является исследование скоростных режимов движения КС грузоподъемностью 220 т.

Для достижения цели должны быть решены следующие задачи:

- исследовать маршруты движения КС грузоподъемностью 220 т на трассе разреза;
- исследовать распределения скоростных режимов движения КС грузоподъемностью 220 т в груженом и порожнем состоянии по маршрутам.

Данные исследования применялись в ходе выполнения работ по проекту «Разработка и создание

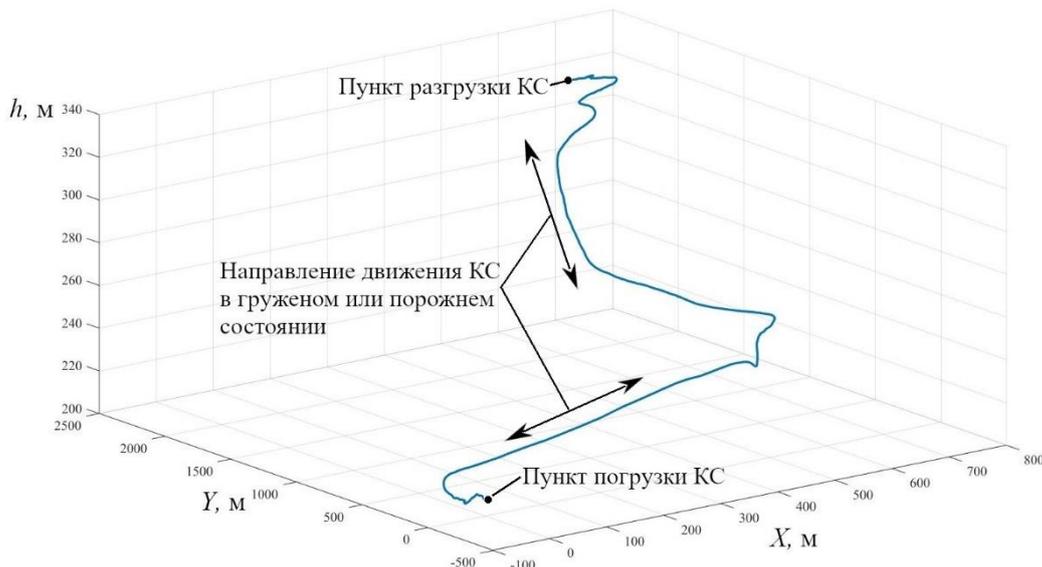


Рис. 1. Маршрут №1 движения карьерного самосвала грузоподъемность 220 т
Fig. 1. Route No.1 of the movement of a quarry dump truck with a load capacity of 220 tons

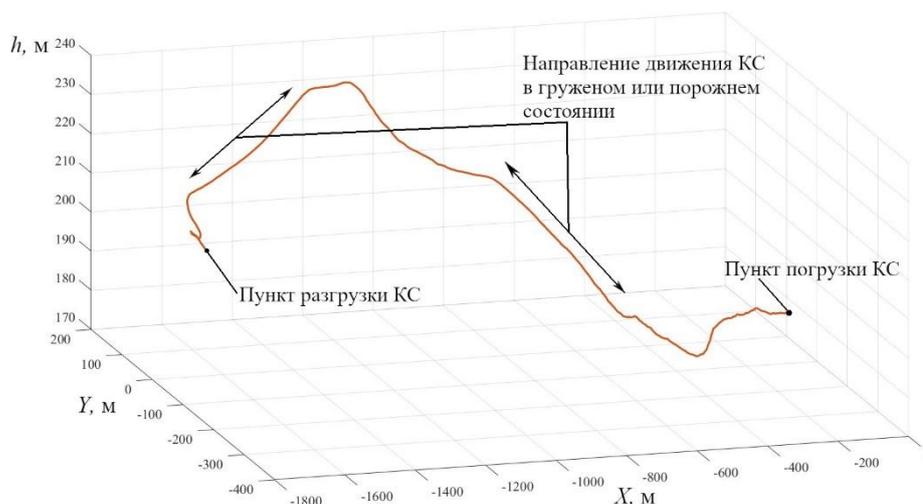


Рис. 2. Маршрут №2 движения карьерного самосвала грузоподъемность 220 т
Fig. 2. Route No.2 of the movement of a quarry dump truck with a load capacity of 220 tons

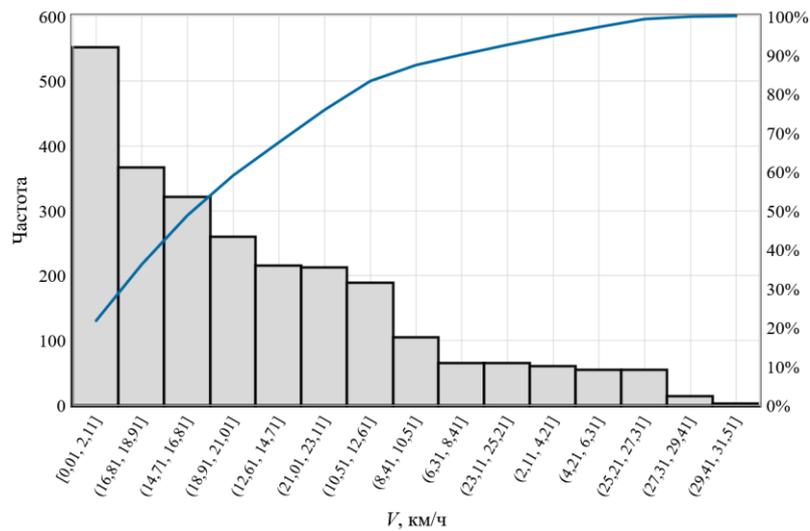


Рис. 3. Распределение скорости карьерного самосвала грузоподъемностью 220 т при движении по всему маршруту №1

Fig. 3. Speed distribution of a dump truck with a load capacity of 220 tons when moving along the entire route No.1

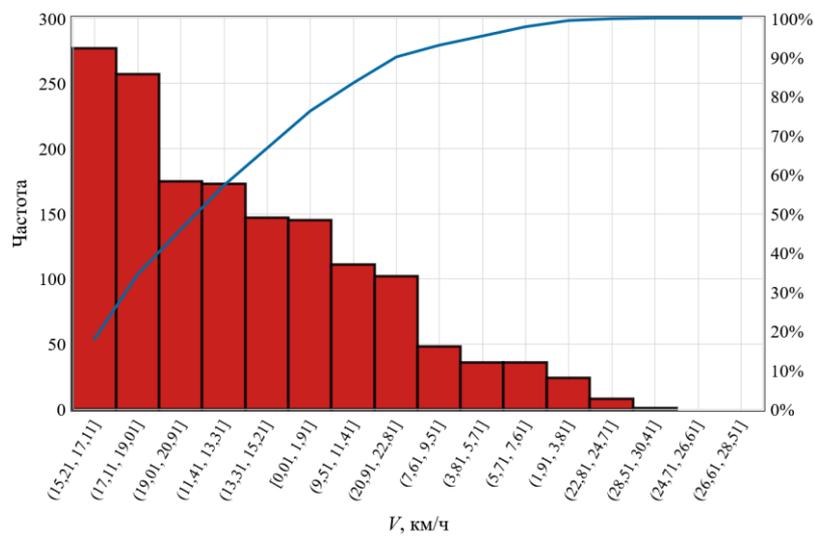


Рис. 4. Распределение скорости карьерного самосвала грузоподъемностью 220 т при движении в груженом состоянии по маршруту №1

Fig. 4. Speed distribution of a dump truck with a load capacity of 220 tons when moving loaded along route No.1

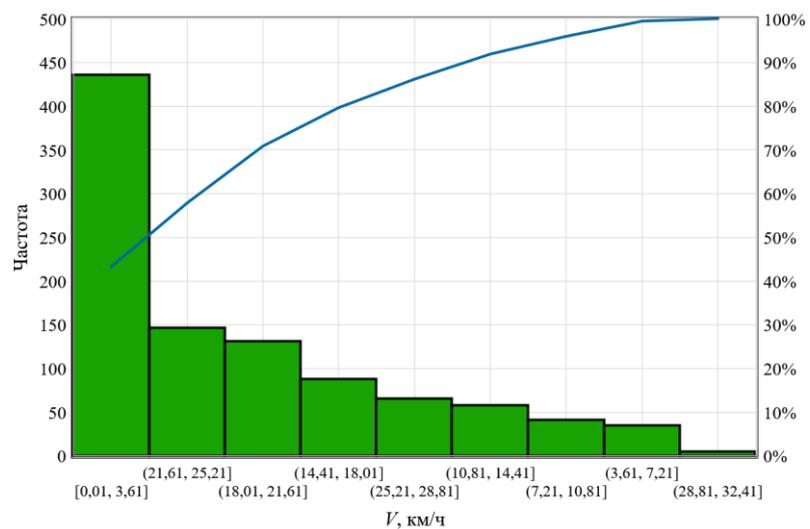


Рис. 5. Распределение скорости карьерного самосвала грузоподъемностью 220 т при движении в порожнем состоянии по маршруту №1

Fig. 5. Speed distribution of a dump truck with a load capacity of 220 tons when driving empty along route No.1

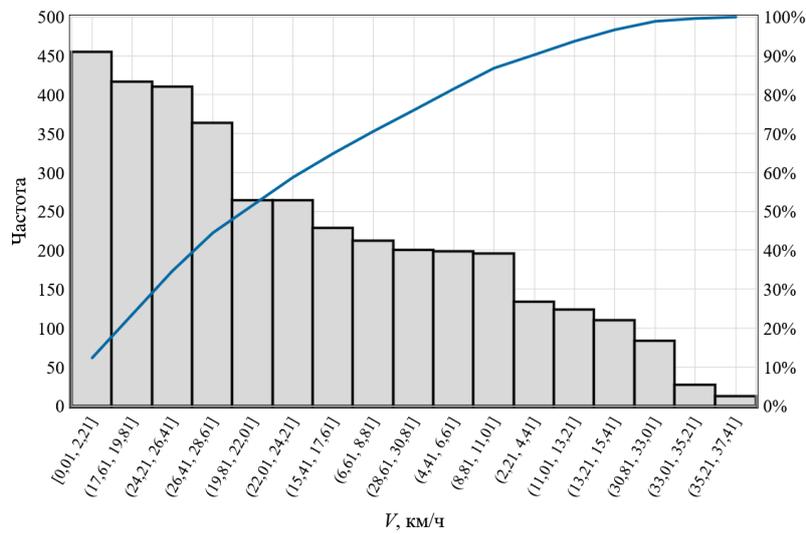


Рис. 6. Распределение скорости карьерного самосвала грузоподъемностью 220 т при движении по всему маршруту №2

Fig. 6. Speed distribution of a dump truck with a load capacity of 220 tons when moving along the entire route No.2

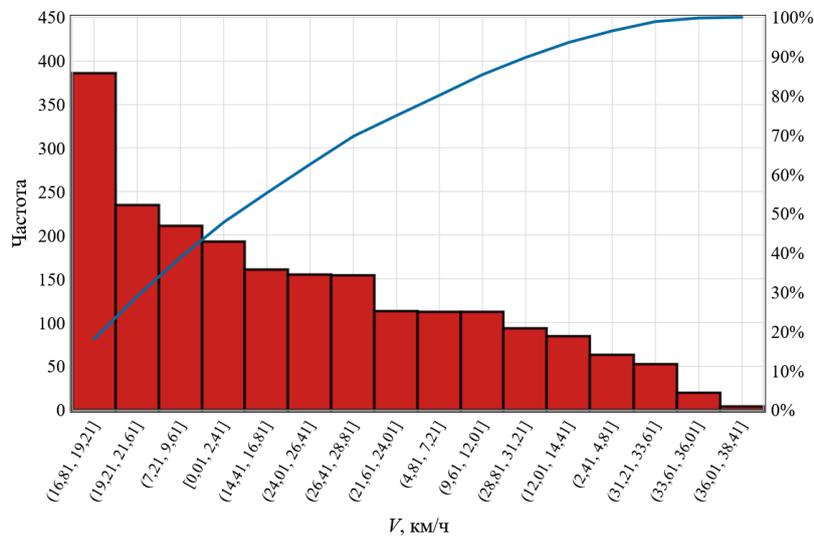


Рис. 7. Распределение скорости карьерного самосвала грузоподъемностью 220 т при движении в груженом состоянии по маршруту №2

Fig. 7. Speed distribution of a dump truck with a load capacity of 220 tons when moving loaded along route No.2

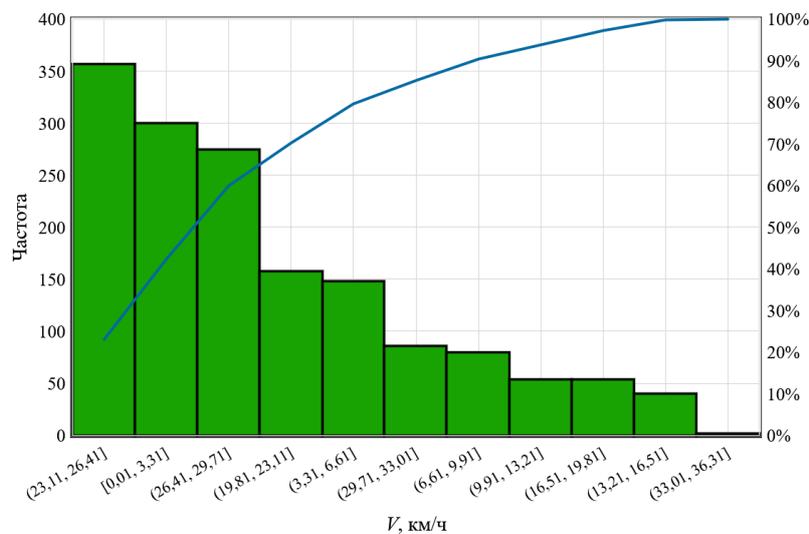


Рис. 8. Распределение скорости карьерного самосвала грузоподъемностью 220 т при движении в порожнем состоянии по маршруту №2

Fig. 8. Speed distribution of a dump truck with a load capacity of 220 tons when driving empty along route No.2

беспилотного карьерного самосвала челночного типа грузоподъемностью 220 тонн» на этапе эскизного и технического проектов, в части разработки математических моделей и проведения имитационного моделирования режимов эксплуатации КС [9-15].

Маршрут движения КС грузоподъемностью 220 т на трассе разреза

Сбор данных производился на разрезе Кузбасса. Специальное оборудование устанавливалось на КС грузоподъемностью 220 т. Запись осуществлялась непрерывно в течении рабочей смены в весенний период времени года. Записи координат в XYZ и времени показывают на карте траекторию реального движения КС на маршруте «Пункт погрузки КС - Пункт разгрузки КС» с учетом дорожных и горно-технических условий. Информация о времени записи точек позволяла определять скоростные режимы движения КС на маршруте в заданный момент времени и на любом участке трассы разреза.

Используя формулы [16] перевода координат в XYZ и проведя анализ данных с установленного специального оборудования на КС грузоподъемностью 220 т получены маршруты движения КС грузоподъемностью 220 т в грузе или порожнем состоянии по координатам XYZ показал, что КС за смену двигался по двум маршрутам. По маршруту №1 (рис. 1) КС совершил 3 рейса; а по маршруту №2 (рис. 2) – 4 рейса.

Анализ GPS данных маршрутов движения КС грузоподъемностью 220 т (рис. 1, рис. 2) в грузе и порожнем состоянии показывает следующие результаты:

- для маршрута №1: значение перепада высоты над уровнем моря за все рейсы составляет 124,9 м; средняя высота над уровнем моря на маршруте движения за все рейсы составляет 261,9 м; плечо откатки 3055 ± 10 м; среднее время движения КС составило 866 ± 26 с;

- для маршрута №2: значение перепада высоты над уровнем моря за все рейсы составляет 57,5 м; средняя высота над уровнем моря на маршруте движения за все рейсы составляет 204,4 м; плечо откатки 2505 ± 17 м; среднее время движения КС составило 540 ± 16 с.

Исследование скоростных режимов движения КС грузоподъемностью 220 т в грузе и порожнем состоянии по маршрутам.

Информация о времени записи точек, при помощи GPS приемника и программного обеспечения, позволяет определить скорость движения КС грузоподъемностью 220 т в грузе и порожнем состоянии на маршруте в заданный момент времени и на любом участке пути.

Анализ и обработка данных экспериментов по измерению скоростных режимов движения КС грузоподъемностью 220 т в грузе и порожнем состоянии по маршрутам позволил построить статистические диаграммы (маршрут №1: рис. 3, рис. 4, рис. 5; маршрут №2: рис. 6, рис. 7, рис. 8), которые упорядочивали полученные значения скорости движения КС (V, км/ч) в порядке убывания их ча-

стоты и совокупного появления на протяжении пути маршрутов.

Анализ распределений скоростных режимов движения КС грузоподъемностью 220 т в грузе и порожнем состоянии (рис. 3 ÷ рис. 8) по маршрутам (рис. 1, рис. 2) показал, что:

- результаты измерений скоростных режимов движения КС показывают большую вариацию значений мгновенной скорости в фиксированный момент времени и в заданной точке пространства, из-за стохастической природы транспортного процесса при влиянии на него большого числа факторов;

- наименьшая скорость движения КС по всему маршруту №1 и №2 «Пункт погрузки КС - Пункт разгрузки КС» появляется чаще, чем средние и наибольшие скорости, и отражает нежелательные результаты для производительности транспортного процесса;

- меньшая масса КС при порожнем перегоне потенциально позволяет обеспечивать более высокую скорость движения КС;

- наименьшая скорость движения КС свидетельствует о простоях под погрузку горной массы;

- по всему маршруту №1 скорости движения КС меньше, чем по всему маршруту №2, из-за разных дорожных условий;

- для маршрута №1 в грузе КС: значение средней скорости за все рейсы составляет 13,2 км/ч; максимальная скорость на маршруте движения 28,5 км/ч;

- для маршрута №2 в грузе КС: значение средней скорости за все рейсы составляет 16,2 км/ч; максимальная скорость на маршруте движения 38,4 км/ч;

- для маршрута №1 в порожнем состоянии КС: значение средней скорости за все рейсы составляет 16,3 км/ч; максимальная скорость на маршруте движения 32,4 км/ч;

- для маршрута №2 в порожнем состоянии КС: значение средней скорости за все рейсы составляет 19,3 км/ч; максимальная скорость на маршруте движения 36,3 км/ч;

- полученные статистические диаграммы свидетельствуют о необходимости учета дорожных факторов при моделировании движения КС грузоподъемностью 220 т.

Заключение

Рассмотрены возможности и области применения GPS, проведена оценка точности определения местоположения и перемещения КС грузоподъемностью 220 т в грузе и порожнем состоянии по рассматриваемым маршрутам №1 и №2, произведена обработка экспериментальных данных и получены скоростные режимы движения КС с помощью GPS.

Анализ распределений скоростных режимов движения КС грузоподъемностью 220 т в грузе и порожнем состоянии по рассматриваемым маршрутам №1 и №2 позволяет оценивать дорожные условия с точки зрения скоростных режимов движения КС для оптимизации работы экскаваторно-автомобильных комплексов, что необходимо учитывать при проектировании дорог на карьерах.

Таким образом, визуализация данных GPS и статистические диаграммы распределений скоростных режимов движения дают ценную информацию для планирования и управления движением КС грузоподъемностью 220 т в груженом и порожнем состоянии, что в конечном итоге при принятии мер, может привести к повышению производительности и снижению эксплуатационных затрат.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ашихмин В.Е., Фурман А.С., Шадрин В.Н. Скоростные и рабочие режимы карьерных автосамосвалов // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2012. №4 (92). С. 123-125.
2. Воронов А.Ю. Оптимизация показателей эксплуатационной производительности экскаваторно-автомобильных комплексов разрезов : специальность 05.13.18 "Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Воронов Артем Юрьевич, 2015. – 200 с.
3. Фурман А. С. Оценка эффективности эксплуатации экскаваторно-автомобильных комплексов на технологических трассах разрезов Кузбасса: специальность 05.05.06 "Горные машины" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Фурман Андрей Сергеевич, 2018. – 137 с.
4. Арефьев С.А. Оценка и обоснование рациональных дорожных условий эксплуатации карьерных автосамосвалов большой грузоподъемности / диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Специальность: 25.00.22 – «Геотехнология» (подземная, открытая и строительная) Екатеринбург, 2015.
5. Буялич Г.Д. Исследование скоростных режимов движения карьерных самосвалов / Г.Д. Буялич, А.С. Фурман // Международный научно-исследовательский журнал. - 2015. - №10 (41). - URL: <https://research-journal.org/archive/10-41-2015-november/issledovanie-skorostnyx-rezhimov-dvizheniya-karemykh-avtosamosvalov> (дата обращения: 21.03.2024). - doi: 10.18454/IRJ.2015.41.064
6. Андреева Л.И., Красникова Т.И., Ушаков Ю.Ю. Методология формирования эффективной системы обеспечения работоспособности горной техники // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2019. № 5. С. 92-106.
7. Ершов В.С., Хамков А.А., Акулов А.А., Шадрин С.С. Исследования углов крена автомобиля при прохождении поворотов в зависимости от изменения его массы // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. – 2020. – № 4(26). – С. 1.
8. Назаренко С.В., Косицын Б.Б., Падалкин Б.В., Стадухин А.А. Метод определения закона энергоэффективного движения беспилотной колесной машины при циклических грузоперевозках // Труды НГТУ им. П.Е. Алексеева. – 2023. – № 3(142). – С. 116-130. – DOI 10.46960/1816-210X_2023_3_116.
9. Dubinkin D.M., Aksenov V.V., Khoreshok A.A., Markov S.O., Tyulenev M.A., Efremkov A.B. On the mutual influence of average speed, trip time and hauling distance of quarry haul trucks // AIP Conference Proceedings : IV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL CONFERENCE ON INNOVATIONS IN ENGINEERING AND TECHNOLOGY (ISPCIET 2021), Veliky Novgorod, Russia, June 28-29, 2021. Vol. 2486. – Veliky Novgorod, Russia: AIP PUBLISHING, 2022. – P. 040017. – DOI 10.1063/5.0106089.
10. Дубинкин Д.М., Голофастова Н.Н. Инженерные решения в повышении экологической безопасности карьерного транспорта // Экология и промышленность России. – 2022. – Т. 26, № 11. – С. 8-12. – DOI 10.18412/1816-0395-2022-11-8-12.
11. Дубинкин Д.М., Аксенов В.В., Пашков Д.А. Тенденции развития беспилотных карьерных самосвалов // Уголь. – 2023. – № 6(1168). – С. 72-79. – DOI 10.18796/0041-5790-2023-6-72-79.
12. Воронов Ю.Е., Воронов А.Ю., Дубинкин Д.М., Максимова О.С. Сравнительная оценка качества функционирования действующих и роботизированных экскаваторно-автомобильных комплексов разрезов // Уголь. – 2023. – № 11(1173). – С. 65-71. – DOI 10.18796/0041-5790-2023-11-65-71.
13. Дубинкин Д. М., Бокарев А. И. Разработка методики определения нагрузок на силовую структуру карьерных самосвалов // Горное оборудование и электромеханика. – 2023. – № 5(169). – С. 31-44. – DOI 10.26730/1816-4528-2023-5-31-44.
14. Дубинкин Д.М., Тургенев И.А., Шахманов В.Н. Особенности создания аккумуляторного карьерного самосвала на электрической тяге // Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство. – 2022. – № 17-1. – С. 159-169. – DOI 10.26160/2658-3305-2022-17-159-169.
15. Dubinkin D.M., Aksenov V.V., Khoreshok A.A., Markov S.O., Efremkov A.B., Tyulenev M.A. Influence of geotechnical factors on the output of quarry haul trucks // AIP Conference Proceedings : IV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL CONFERENCE ON INNOVATIONS IN ENGINEERING AND TECHNOLOGY (ISPCIET 2021), Veliky Novgorod, Russia, June 28-29, 2021. Vol. 2486. – Veliky Novgorod, Russia: AIP PUBLISHING, 2022. – P. 040009. – DOI 10.1063/5.0106051.
16. Мишута Д.В., Михайлов В.Г., Сырай М.В. Выбор метода обработки данных и получения продольного профиля дороги, режима движения автомобиля с помощью GPS (GNSS-приемника) // Механика машин, механизмов и материалов. – 2022. – № 2(59). – С. 88-96. – DOI 10.46864/1995-0470-2022-2-59-88-96.

© 2024 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:

Дубинкин Дмитрий Михайлович – кандидат технических наук, доцент, г. Кемерово, Российская Федерация, Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева; ORCID 0000-0002-8193-9794, Scopus ID 57197717432; e-mail: ddm.tm@kuzstu.ru

Елкин Иван Сергеевич – кандидат технических наук, доцент, г. Кемерово, Российская Федерация, Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева; e-mail: eis.fiz@kuzstu.ru

Дубинкин Семен Дмитриевич – студент КузГТУ, г. Кемерово, Российская Федерация, Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева; e-mail: dubinkinsd@kuzstu.ru

Тургенев Илья Александрович – аспирант, младший научный сотрудник научного центра «Цифровые технологии», г. Кемерово, Российская Федерация, Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева; e-mail: turgenevia@kuzstu.ru

Заявленный вклад авторов:

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

Елкин Иван Сергеевич – постановка исследовательской задачи, концептуализация исследования, анализ данных, подведение итогов, написание текста.

Дубинкин Семен Дмитриевич – анализ данных, подведение итогов, написание текста, обзор актуальной литературы, сбор данных.

Тургенев Илья Александрович – анализ данных, подведение итогов, написание текста, обзор актуальной литературы, сбор данных.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Original article

DOI: 10.26730/1816-4528-2024-5-61-69

Dmitry M. Dubinkin*, Ivan S. Elkin, Semyon D. Dubinkin, Ilya A. Turgenev

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University

*E-mail: ddm.tm@kuzstu.ru

INVESTIGATION OF HIGH-SPEED MODES OF MOVEMENT OF A MINING DUMP TRUCK WITH A LOAD CAPACITY OF 220 TONS

Abstract.

The article examines the study of high-speed modes of movement of a mining dump truck with a load capacity of 220 tons. The experimental results obtained at the Kuzbass section with the help of special equipment installed on a quarry dump truck with a load capacity of 220 tons are presented. The routes of movement of a quarry dump truck on the cut route and the distribution of speed modes of movement of a quarry dump truck with a load capacity of 220 tons in loaded and empty condition along the routes are studied. Two routes of movement of a dump truck in XYZ coordinates have been obtained. The height difference above sea level and the average travel time of the dump truck have been established. Statistical diagrams of the speed modes of movement of a quarry dump truck with a load capacity of 220 tons in loaded and empty condition along the routes are given. The results of measurements of the speed modes of movement of a dump truck show a large variation in the values of instantaneous speed at a fixed point in time and at a given point in space, due to the stochastic nature of the transport process under the influence of a large number of factors. The lowest speed of a dump truck along the entire route "Loading point - Unloading point" appears more often than the average and highest speeds, and reflects undesirable results for the productivity of the transport process. The lowest speed of movement of a dump truck indicates downtime for loading rock mass. High-speed modes of movement of dump trucks must be taken into account to optimize the operation of excavator-automobile complexes and when designing roads in quarries, which can lead to increased productivity and lower operating costs.



Article info

Received:

31 October 2024

Accepted for publication:

15 November 2024

Accepted:

22 November 2024

Published:

11 December 2024

Keywords: GPS, open-pit mining, quarry dump truck, speed of movement of a quarry dump truck, longitudinal profile of the road.

For citation: Dubinkin D.M., Elkin I.S., Dubinkin S.D., Turgenev I.A. Investigation of high-speed modes of movement of a mining dump truck with a load capacity of 220 tons. Mining Equipment and Electromechanics, 2024; 5(175):61-69 (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1816-4528-2024-5-61-69, EDN: VIEOKK

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. Ashikhmin V.E., Furman A.S., Shadrin V.N. High-speed and working modes of quarry dump trucks // Bulletin of the Kuzbass State Technical University. 2012. №4 (92). C. 123-125.
2. Voronov, A. Y. Optimization of performance indicators of excavator-automobile complexes of sections : specialty 05.13.18 "Mathematical modeling, numerical methods and software packages" : dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences / Voronov Artem Yuryevich, 2015. – 200 p.
3. Furman A. S. Evaluation of the efficiency of operation of excavator-automobile complexes on technological routes of Kuzbass sections: specialty 05.05.06 "Mining machines" : dissertation for the degree of candidate of technical Sciences / Furman Andrey Sergeevich, 2018. – 137 p.
4. Arefyev S.A. Assessment and justification of rational road conditions for the operation of heavy-duty dump trucks / dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences / Specialty: 25.00.22 - "Geotechnology" (underground, open and construction)" Yekaterinburg, 2015.
5. Buyalich G.D. Investigation of high-speed modes of movement of dump trucks / G.D. Buyalich, A.S. Furman // International Scientific Research Journal. - 2015. - №10 (41). - URL: <https://research-journal.org/archive/10-41-2015-november/issledovanie-skorostnyx-rezhimov-dvizheniya-karernyx-avtosamosvalov> (date of application: 03/21/2024). - doi: 10.18454/IRJ.2015.41.064
6. Andreeva L.I., Krasnikova T.I., Ushakov Yu.Yu. Methodology of formation of an effective system for ensuring the operability of mining equipment // Izvestiya higher educational institutions. Mining magazine. 2019. No. 5. pp. 92-106.
7. Ershov V.S., Khamkov A.A., Akulov A.A., Shadrin S.S. Studies of the roll angles of a car during cornering depending on changes in its mass // Automobile. Road. Infrastructure. – 2020. – № 4(26). – C. 1.
8. Nazarenko S.V., Kositsyn B.B., Padalkin B.V., Stadukhin A.A. Method of determining the law of energy-efficient movement of an unmanned wheeled vehicle in cyclic cargo transportation // Proceedings of the R.E. Alekseev NSTU. – 2023. – № 3(142). – Pp. 116-130. – DOI 10.46960/1816-210X_2023_3_116.
9. Dubinkin D.M., Aksenov V.V., Khoreshok A.A., Markov S.O., Tyulenev M.A., Efremkov A.B. On the mutual influence of average speed, trip time and hauling distance of quarry haul trucks // AIP Conference Proceedings : IV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL CONFERENCE ON INNOVATIONS IN ENGINEERING AND TECHNOLOGY (ISPCIET 2021), Veliky Novgorod, Russia, June 28-29, 2021. Vol. 2486. – Veliky Novgorod, Russia: AIP PUBLISHING, 2022. – P. 040017. – DOI 10.1063/5.0106089.
10. Dubinkin D.M., Golofastova N.N. Engineering solutions in improving the environmental safety of quarry transport // Ecology and industry of Russia. - 2022. – Vol. 26, No. 11. – pp. 8-12. – DOI 10.18412/1816-0395-2022-11-8-12.
11. Dubinkin D.M., Aksenov V.V., Pashkov D.A. Trends in the development of unmanned mining dump trucks // Coal. – 2023. – № 6(1168). – Pp. 72-79. – DOI 10.18796/0041-5790-2023-6-72-79.
12. Voronov Yu.E., Voronov A.Yu., Dubinkin D.M., Maksimova O.S. Comparative assessment of the quality of functioning of existing and robotic excavator-automobile complexes of sections // Ugol. – 2023. – № 11(1173). – Pp. 65-71. – DOI 10.18796/0041-5790-2023-11-65-71.
13. Dubinkin D. M., Bokarev A. I. Development of a methodology for determining loads on the power structure of quarry dump trucks // Mining equipment and electromechanics. – 2023. – № 5(169). – Pp. 31-44. – DOI 10.26730/1816-4528-2023-5-31-44.
14. Dubinkin D.M., Turgenev I.A., Shakhmatov V.N. Features of creating a battery-powered dump truck with electric traction // Transport, mining and construction engineering: science and production. – 2022. – No. 17-1. – pp. 159-169. - DOI 10.26160/2658-3305-2022-17-159-169.
15. Dubinkin D.M., Aksenov V.V., Khoreshok A.A., Markov S.O., Efremkov A.B., Tyulenev M.A. Influence of geotechnical factors on the output of quarry haul trucks // AIP Conference Proceedings : IV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL CONFERENCE ON INNOVATIONS IN ENGINEERING AND TECHNOLOGY (ISPCIET 2021), Veliky Novgorod, Russia, June 28-29, 2021. Vol. 2486. – Veliky Novgorod, Russia: AIP PUBLISHING, 2022. – P. 040009. – DOI 10.1063/5.0106051.

16. Mishuta D.V., Mikhailov V.G., Syray M.V. Choosing a method of data processing and obtaining a longitudinal profile of the road, vehicle driving mode

using GPS (GNSS receiver) // Mechanics of machines, mechanisms and materials. – 2022. – № 2(59). – Pp. 88-96. – DOI 10.46864/1995-0470-2022-2-59-88-96.

© 2024 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:

Dmitry M. Dubinkin – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Kemerovo, Russian Federation, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University; ORCID 0000-0002-8193-9794, Scopus ID 57197717432; e-mail: ddm.tm@kuzstu.ru

Ivan S. Elkin – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Kemerovo, Russian Federation, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University; eis.fiz@kuzstu.ru

Semyon D. Dubinkin – student of KuzSTU, Kemerovo, Russian Federation, Kuzbass State Technical University named after T.F. Gorbachev. T.F. Gorbachev; e-mail: dubinkinsd@kuzstu.ru

Ilya A. Turgenev – postgraduate student, junior researcher at the scientific center "Digital Technologies", Kemerovo, Russian Federation, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University; e-mail: turgenevia@kuzstu.ru

Contribution of the authors:

Dmitry M. Dubinkin – setting the research problem, conceptualisation of the study, data analysis, summarising, writing, review of current literature.

Ivan S. Elkin – research problem statement, research conceptualisation, data analysis, summarising, writing.

Semyon D. Dubinkin – data analysis, summarising, writing, review of current literature, data collection.

Ilya A. Turgenev – data analysis, summarising, writing, review of current literature, data collection.

Authors have read and approved the final manuscript.

