

Научная статья

УДК 622.684

DOI: 10.26730/1999-4125-2024-6-110-119

ВЛИЯНИЕ ТРАССЫ РАЗРЕЗА НА СКОРОСТЬ ДВИЖЕНИЯ КАРЬЕРНОГО САМОСВАЛА ГРУЗОПОДЪЕМНОСТЬЮ 220 Т

Дубинкин Дмитрий Михайлович*, Дягилева Анна Владимировна,
Дубинкин Семен Дмитриевич, Тургенев Илья Александрович

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева

*для корреспонденции: ddm.tm@kuzstu.ru



Информация о статье

Поступила:

06 октября 2024 г.

Одобрена после

рецензирования:

22 ноября 2024 г.

Принята к публикации:

02 декабря 2024 г.

Опубликована:

05 декабря 2024 г.

Ключевые слова:

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

Аннотация.

В статье рассматривается исследование влияния трассы разреза на скорость движения КС грузоподъемностью 220 т на основе GPS данных. Запись GPS данных осуществлялась с помощью специального оборудования, установленного на карьерном самосвале грузоподъемностью 220 т непрерывно в течении рабочей смены в весенний период времени года. Анализ маршрутов движения карьерного самосвала грузоподъемность 220 т по координатам XYZ показал, что автосамосвал за смену двигался по двум типовым маршрутам. Получены маршруты движения карьерного самосвала грузоподъемность 220 т, изменение высоты продольного профиля дороги h и скорости движения автосамосвала V от пройденного пути l . Значение перепада высоты над уровнем моря за все рейсы составляет 124,9 м для маршрута №1, для маршрута №2 – 57,5 м. Приведено изменение скорости движения карьерного самосвала V в груженом и порожнем состоянии от пройденного пути l для разных маршрутов. Скорость карьерного самосвала может варьироваться от 20 км/ч до 40 км/ч на ровных участках дороги в зависимости от условий эксплуатации, погодных условий и качества дорожного полотна. При движении по сложным участкам таких как подъемы и спуски скорость может быть от 5 км/ч до 20 км/ч. Средняя скорость движения карьерного самосвала в порожнем состоянии больше на 3,1 км/ч, чем у груженого. Для оптимизации работы экскаваторно-автомобильных комплексов, возможно стоит рассмотреть вопрос оптимизации маршрутов, в которых следует учитывать, что изменение высоты продольного профиля (высоты над уровнем моря) влияет на скорость движения карьерного самосвала грузоподъемность 220 т, что необходимо учитывать при проектировании дорог на разрезах.

Для цитирования: Дубинкин Д.М., Дягилева А.В., Дубинкин С.Д., Тургенев И.А. Влияние трассы разреза на скорость движения карьерного самосвала грузоподъемностью 220 т // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2024. № 6 (166). С. 110-119. DOI: 10.26730/1999-4125-2024-6-110-119, EDN: GVMVAK

Благодарность

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

Основным способом разработки месторождений полезных ископаемых является открытый, доля которого составляет до 70% от всей добычи. Основным трудоемким и экономически затратным является процесс транспортирования, где транспортным оборудованием является карьерный самосвал (КС). Скорость – это наиболее информативный комплексный показатель эффективности работы. Ее влияние на транспортный процесс значительно и противоречиво. С одной стороны, от нее в большой степени зависит производительность КС, и движение с неоправданно низкой скоростью приводит к низкой эффективности использования и увеличению себестоимости перевозок. С другой стороны, с ростом скорости движения КС по маршрутам снижается ресурс шин и опорных металлоконструкций, повышается расход топлива, что тоже приводит, через увеличение затрат на эксплуатацию, к росту себестоимости перевозок.

Скорость движения КС по трассам разреза или карьера зависит от множества факторов и, прежде всего, от удельной мощности двигателя, типа трансмиссии, качества дорожного полотна, продольного профиля дороги, условий безопасного движения, рельефа и загрузки горной массой КС [1-6].

GPS данные, получаемые с КС, позволяют контролировать и отслеживать скорость движения в реальном времени, а данные с GPS трекера фиксировать маршрут движения, что позволит анализировать его эффективность 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 успешности является скорость движения КС, которая напрямую влияет на производительность и себестоимость добычи. Определение средней скорости движения КС является ключевым фактором для оптимизации транспортных процессов на разрезах и карьерах.

Постановка цели и задач

Целью работы является исследование влияния трассы разреза на скорость движения КС грузоподъемностью 220 т на основе GPS данных.

Для достижения цели должны быть решены следующие задачи:

– описать маршрут движения КС грузоподъемностью 220 т на трассе разреза;

– проанализировать и определить среднюю скорость движения в грузе или порожнем состоянии КС грузоподъемностью 220 т на трассе разреза.

Данные исследования применялись в ходе выполнения работ по проекту «Разработка и создание 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 [7-9].

Маршрут движения КС грузоподъемностью 220 т на трассе разреза

Сбор данных производился на разрезе Кузбасса. Специальное оборудование устанавливалось на КС грузоподъемностью 220 т. Оборудование состояло из GNSS приемника, антенн и вычислительного блока. GNSS приемник OC-213 производства Orient Systems, двух-антенный, предназначен для высокоточного определения положения объекта в пространстве (время, координаты и курс). К GNSS приемнику подключалась внешняя GNSS антенна AT340, предназначенная для приема сигналов от спутниковых навигационных систем, таких как GPS, ГЛОНАСС, Galileo и других. Сбор и запись данных осуществлялось при помощи вычислительного блока на базе процессора Intel Core I9 12650 и материнской платы производства MSI.

Запись GPS данных осуществлялась с помощью специального оборудования установленного на КС непрерывно в течение рабочей смены в весенний период времени года.

Полученные GPS данные на специальном оборудовании представляют собой последовательность сообщений, публикуемых драйвером GNSS в среде ROS2 в отдельный топик /gps/fix. Непосредственная обработка проводилась путем конвертации данных в файл формата CSV. Записи образуют кривую линию, показывающую на карте траекторию реального движения КС на маршруте «Пункт погрузки КС - Пункт разгрузки КС» с учетом перепадов высот. Информация о времени записи точек позволяет определить скорость движения автосамосвала на маршруте в заданный момент времени и на любом участке пути.

Используя формулы [10] перевода координат в XYZ и проведя анализ данных с установленного специального оборудования на КС грузоподъемностью 220 т получены маршруты движения КС грузоподъемностью 220 т, изменение высоты продольного профиля дороги

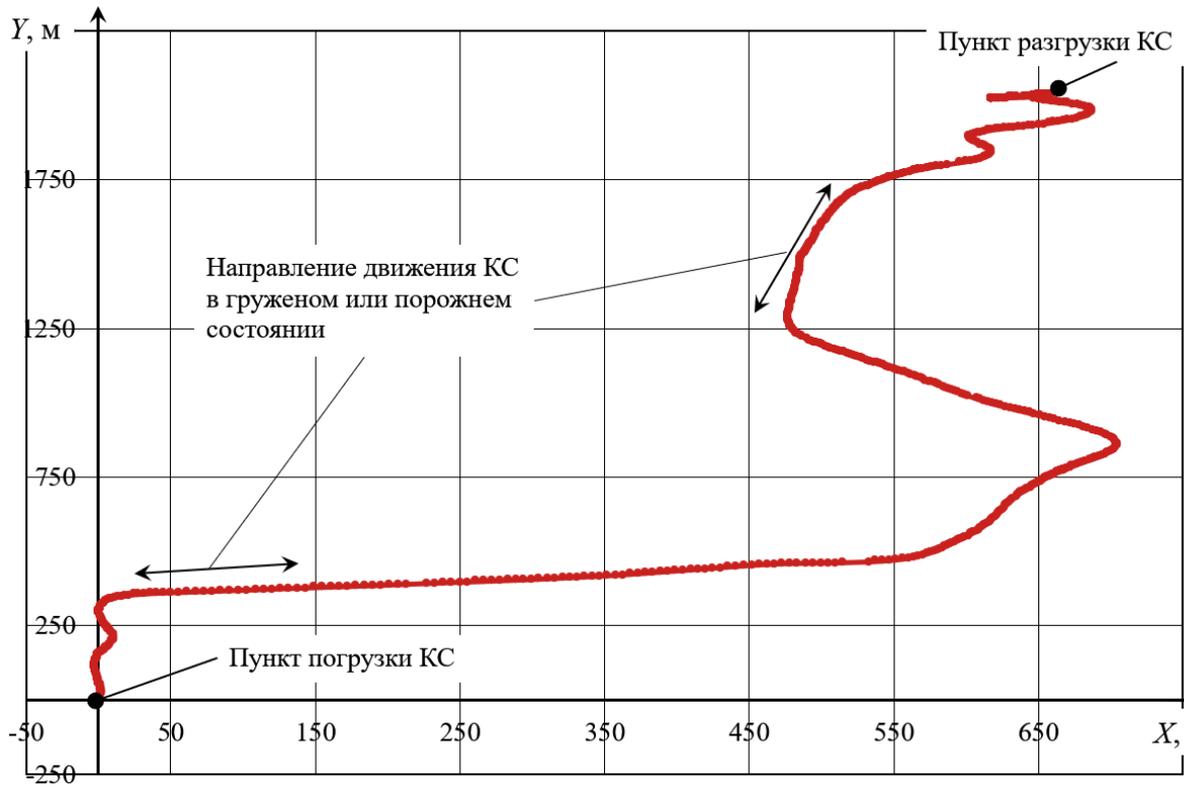


Рис. 1. Маршрут №1 движения карьерного самосвала грузоподъемность 220 т
 Fig. 1. Route No. 1 of the movement of a quarry dump truck with a load capacity of 220 tons

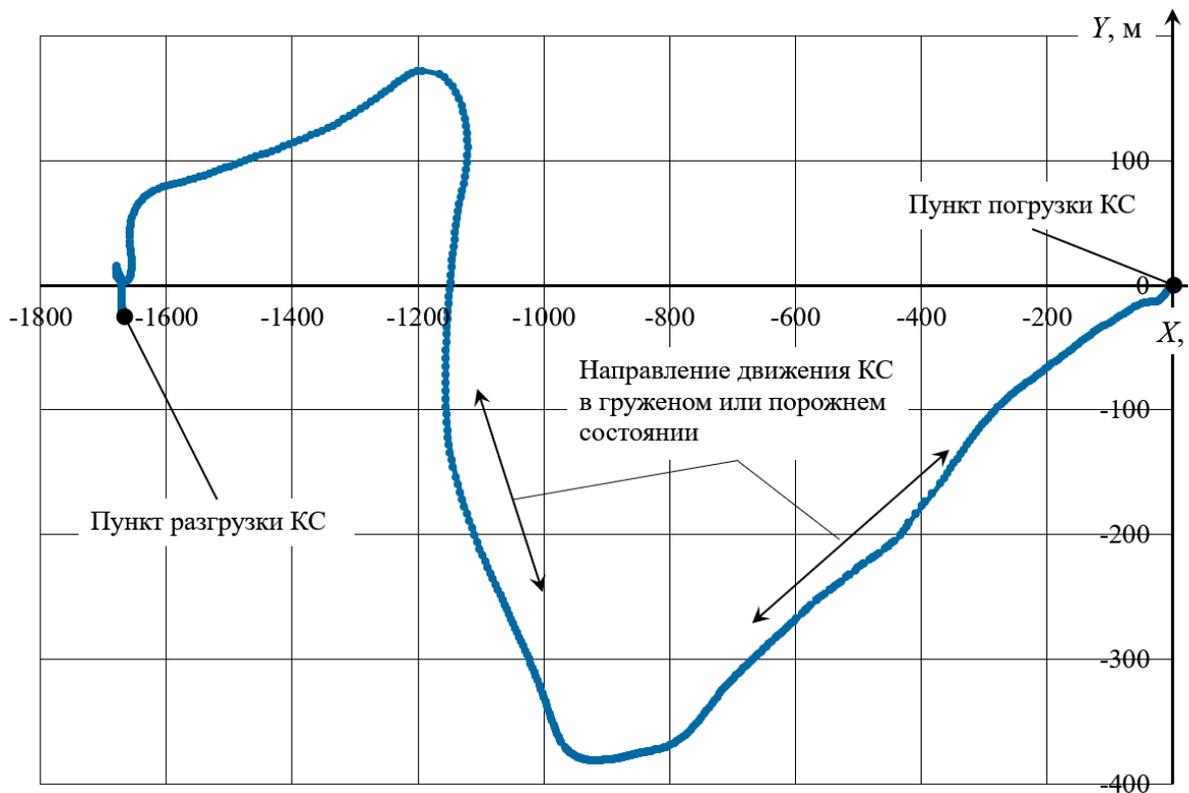


Рис. 2. Маршрут №2 движения карьерного самосвала грузоподъемность 220 т
 Fig. 2. Route No. 2 of the movement of a quarry dump truck with a load capacity of 220 tons

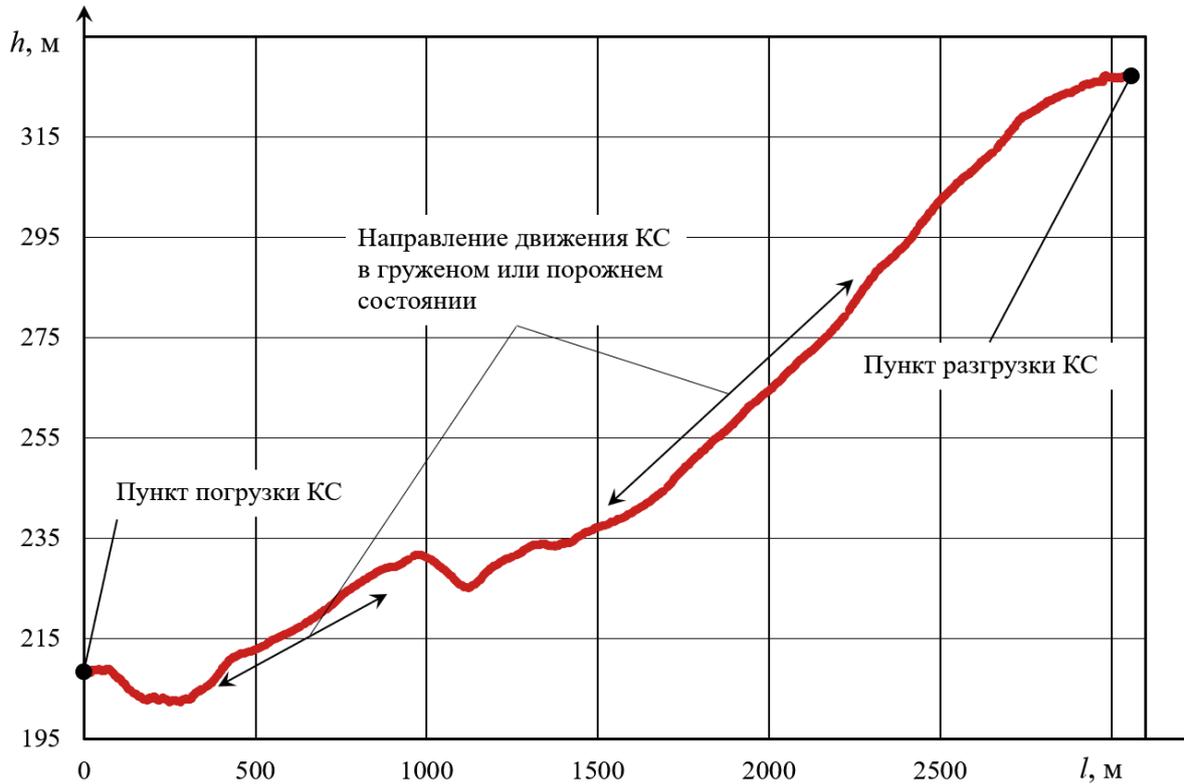


Рис. 3. Изменение высоты продольного профиля дороги h от пройденного пути карьерным самосвалом l для маршрута №1

Fig. 3. Changing the height of the longitudinal profile of the road h from the traveled path dump truck l for route No.1

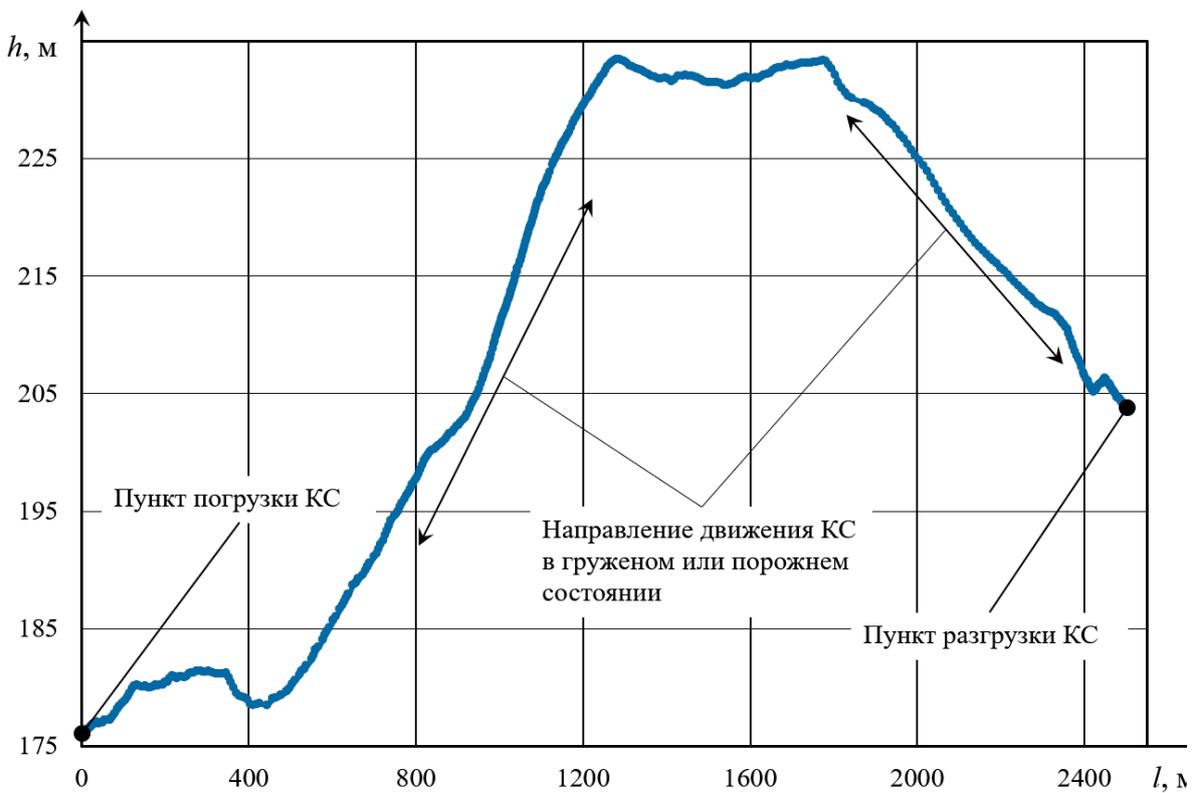


Рис. 4. Изменение высоты продольного профиля дороги h от пройденного пути карьерным самосвалом l для маршрута №2

Fig. 4. Changing the height of the longitudinal profile of the road h from the traveled path dump truck l for route No.2

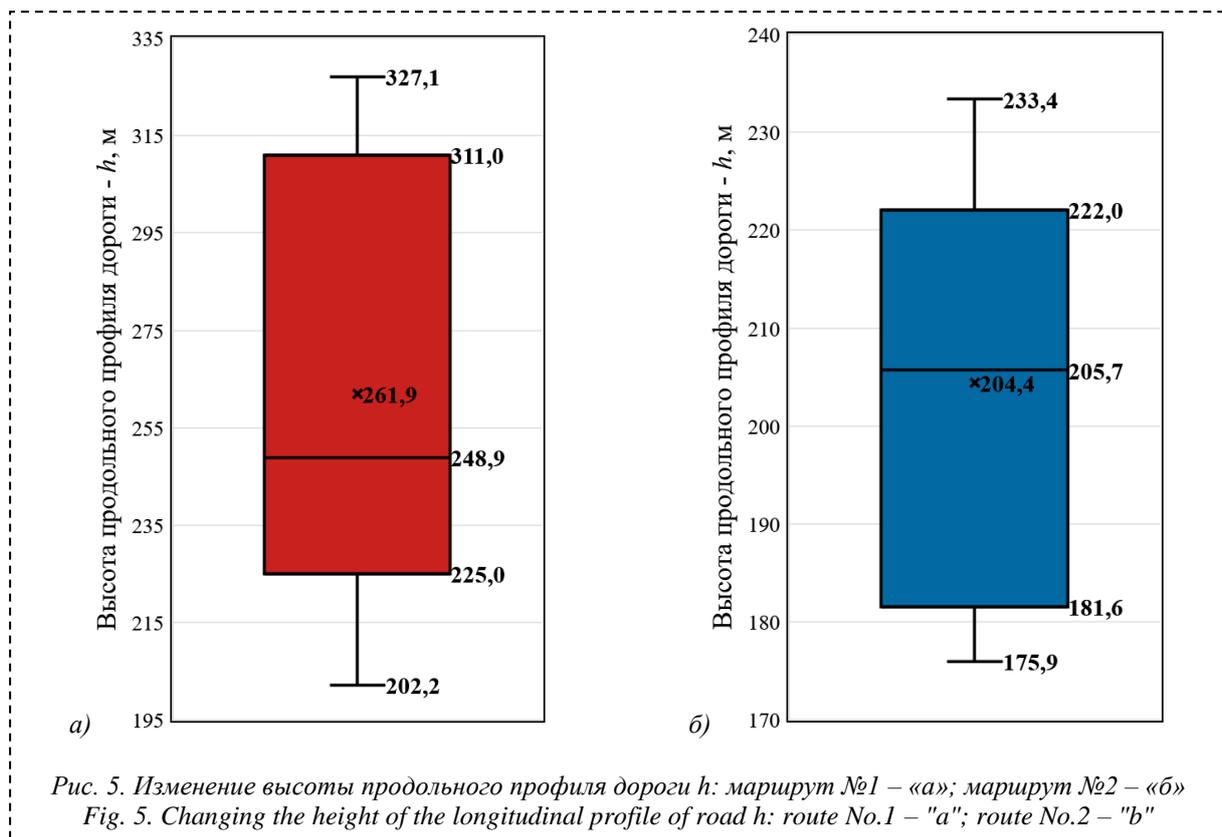


Рис. 5. Изменение высоты продольного профиля дороги h : маршрут №1 – «а»; маршрут №2 – «б»
 Fig. 5. Changing the height of the longitudinal profile of road h : route No.1 – "a"; route No.2 – "b"

h и скорости движения КС V от пройденного пути l .

Анализ маршрутов движения КС грузоподъемность 220 т по координатам XYZ показал, что КС за смену двигался по двум маршрутам:

- маршрут №1 с плечом откатки 3055 ± 10 м (рис. 1) – 3 рейса;
- маршрут №2 с плечом откатки 2505 ± 17 м (рис. 2) – 4 рейса.

Изменение высоты продольного профиля дороги h от пройденного пути КС l для маршрута №1 и №2, соответственно, показаны на рисунках 3 и 4.

Рассматривая изменение параметров движения КС грузоподъемность 220 т (рис. 1, рис. 2, рис. 3, рис. 4) в груженом или порожнем состоянии, от точки пункта погрузки КС до конечной точки пункта разгрузки КС и наоборот, получим два варианта маршрутов для разработки математических моделей и проведения имитационного моделирования режимов эксплуатации КС: движение КС максимальной массы (груженой) и движение КС минимальной массы (порожней).

Анализ графиков и данных изменения высоты продольного профиля дороги h от пройденного пути карьерным самосвалом l (рис. 3, рис. 4) показывает следующие результаты:

– для маршрута №1 (рис. 5, а): значение перепада высоты над уровнем моря за все рейсы составляет 124,9 м; средняя высоты над уровнем моря на маршруте движения 261,9 м;

– для маршрута №2 (рис. 5, б): 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.

Анализ средней скорости движения в груженом или порожнем состоянии КС грузоподъемностью 220 т на трассе разреза

Изменение скорости движения КС V от пройденного пути l для маршрута №1 и №2, соответственно, в груженом состоянии показаны на рисунках 6 и 8, и в порожнем состоянии – на рисунках 7 и 9.

Анализ графиков и данных изменения скорости движения V КС грузоподъемность 220 т от пройденного пути l (рис. 6, рис. 7, рис. 8, рис. 9) показывает следующие результаты:

– для маршрута №1 (рис. 6) в груженом состоянии КС: значение средней скорости за все рейсы составляет 13,2 км/ч; максимальная скорость на маршруте движения 23,1 км/ч;

– для маршрута №2 (рис. 8) в груженом состоянии КС: значение средней скорости за все рейсы составляет 16,2 км/ч; максимальная скорость на маршруте движения 34,0 км/ч;

– для маршрута №1 (рис. 7) в порожнем состоянии КС: значение средней скорости за все рейсы составляет 16,3 км/ч; максимальная скорость на маршруте движения 29,7 км/ч;

– для маршрута №2 (рис. 9) в порожнем состоянии КС: значение средней скорости за все рейсы составляет 19,3 км/ч; максимальная скорость на маршруте движения 31,0 км/ч;

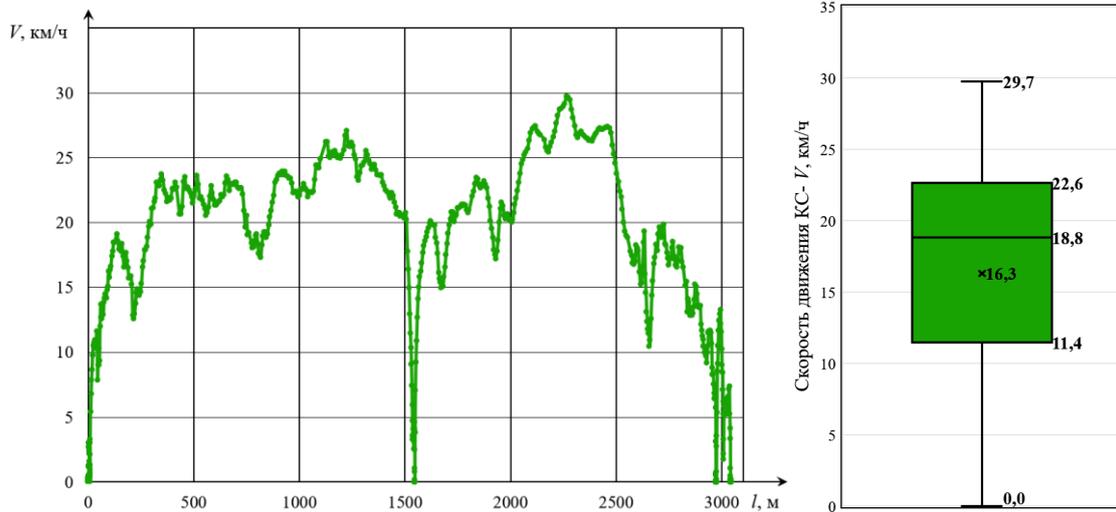


Рис. 7. Изменение скорости движения V карьерного самосвала в порожнем состоянии от пройденного пути l на маршруте №1

Fig. 7. Change in the speed of movement V of a quarry dump truck in an empty state from the traveled path l on route No.1

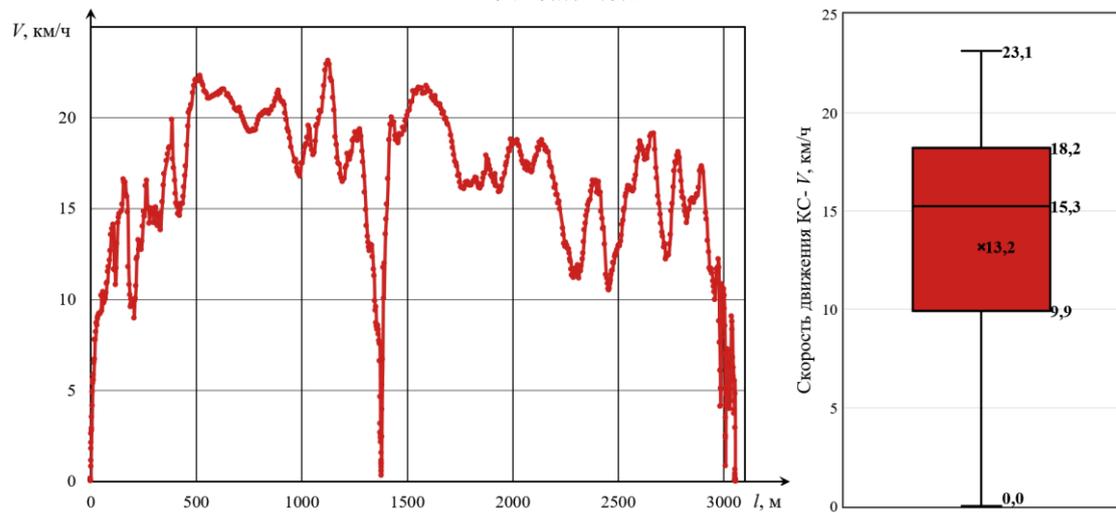


Рис. 6. Изменение скорости движения V карьерного самосвала в груженом состоянии от пройденного пути l на маршруте №1

Fig. 6. Change in the speed of movement V of a quarry dump truck in the loaded state from the traveled path l on route No.1

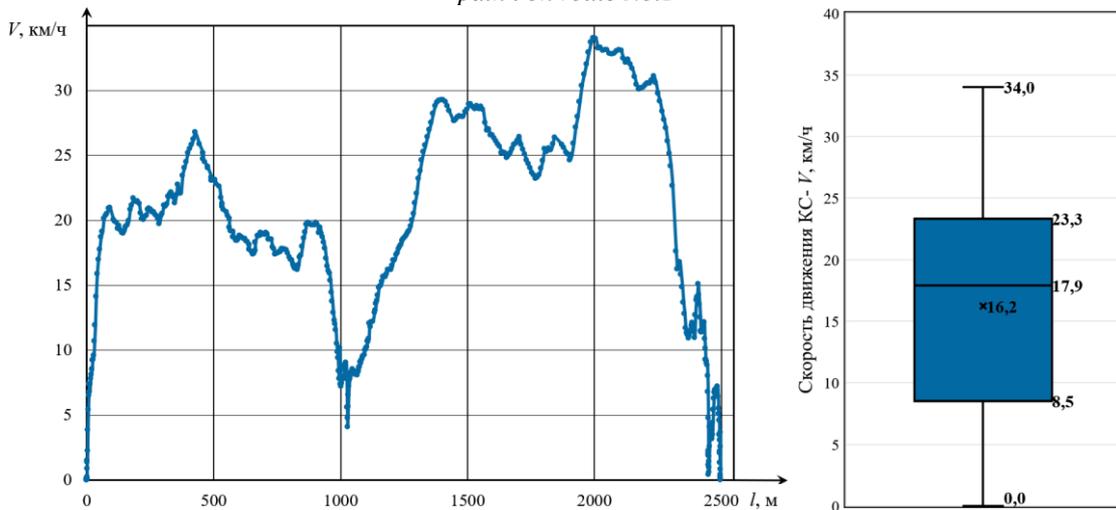


Рис. 8. Изменение скорости движения V карьерного самосвала в груженом состоянии от пройденного пути l на маршруте №2

Fig. 8. Change in the speed of movement V of a quarry dump truck in the loaded state from the traveled path l on route No.2

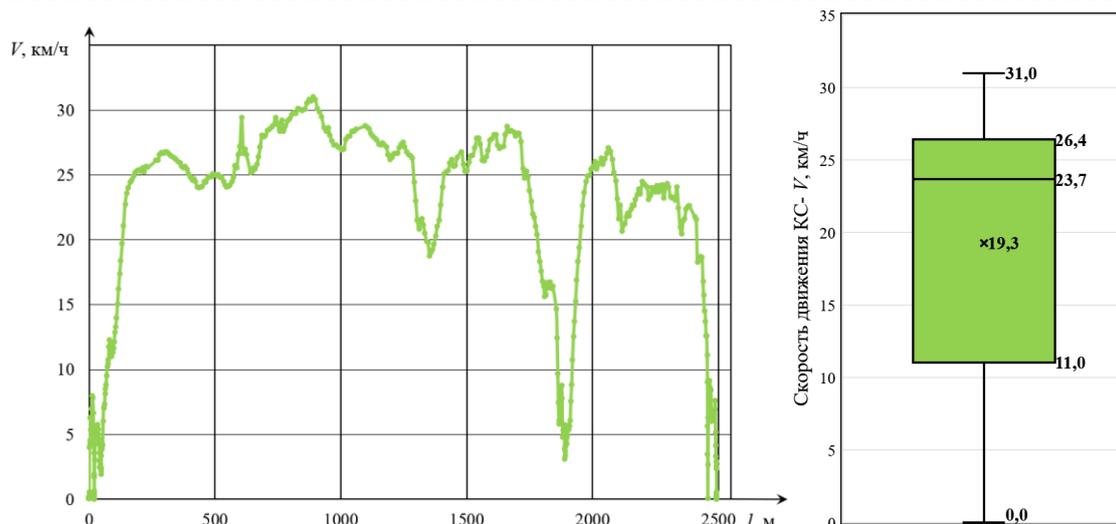


Рис. 9. Изменение скорости движения V карьерного самосвала в порожнем состоянии от пройденного пути l на маршруте №2

Fig. 9. Change in the speed of movement V of a quarry dump truck in an empty state from the traveled path l on route No.2

- среднее время движения КС по маршруту №1 составило 866 ± 26 с, а по маршруту №2 – 540 ± 16 с.;

- скорость сравнительно низкая, это может быть из-за того, что КС испытывает значительные препятствия во время движения на дорогах, спусках и (или) подъемах, которые требуют более осторожного вождения;

- имеющие место экстремумы на графиках скорости движения КС грузоподъемность 220 т обусловлены резким изменением скорости при торможении перед переездом препятствий, при повороте дороги, перед перекрестками и медленно движущимся впереди КС на подъеме и отражают реальный режим движения КС.

- полученные графики свидетельствуют о необходимости учета дорожных факторов при моделировании движения КС грузоподъемность 220 т.

Заключение

Анализируя данные, основанные на GPS и графики, на которых отражена скорость и скорость от высоты, показали, что на участках с увеличением высоты, скорость самосвала уменьшается. Это в свою очередь говорит о том, что при увеличении высоты возникают дополнительные физические нагрузки, которые влияют на производительность и износ основных узлов КС.

Для оптимизации работы экскаваторно-автомобильных комплексов, возможно стоит рассмотреть вопрос оптимизации маршрутов, в которых следует учитывать, что изменение высоты продольного профиля (высоты над уровнем моря) влияет на скорость движения КС грузоподъемность 220 т, что необходимо учитывать при проектировании дорог на разрезах.

Скорость КС может варьироваться от 20 км/ч до 40 км/ч на ровных участках дороги в зависимости от условий эксплуатации, погодных условий и качества дорожного полотна. При движении по сложным участкам таких как подъемы и спуски скорость может быть от 5 км/ч до 20 км/ч.

Очевидно, что меньшая масса КС грузоподъемность 220 т при порожнем перегоне потенциально позволит обеспечить более высокую среднюю скорость движения КС, которая в данных исследованиях больше на 3,1 км/ч, чем у груженого.

Таким образом, визуализация данных GPS и графиков дают ценную информацию для планирования и управления движением КС грузоподъемность 220 т, 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-karernyx-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. 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.

8. 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.

9. 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.

10. 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 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:

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

Дягилева Анна Владимировна – кандидат технических наук, доцент, г. Кемерово, Российская Федерация, Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева; e-mail: dyagileva1952@mail.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.

Дягилева Анна Владимировна – 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

THE EFFECT OF THE TRACK COAL MINE ON THE SPEED OF MOVEMENT OF A QUARRY DUMP TRUCK WITH A LOAD CAPACITY OF 220 TONS

Dmitry M. Dubinkin, Anna V. Diaghileva, Semyon D. Dubinkin, Ilya A. Turgenev

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University

*for correspondence: ddm.tm@kuzstu.ru



Article info

Received:

06 October 2024

Accepted for publication:

22 November 2024

Accepted:

02 December 2024

Published:

05 December 2024

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

Abstract.

The article considers the study of the effect of the cut route on the speed of movement of a 220-ton load-carrying CS based on GPS melons. GPS data was recorded using special equipment installed on a quarry dump truck with a load capacity of 220 tons continuously during a work shift in the spring season. An analysis of the routes of a mining dump truck with a load capacity of 220 tons according to XYZ coordinates showed that the dump truck moved along two typical routes per shift. The routes of movement of a dump truck with a load capacity of 220 tons, a change in the height of the longitudinal profile of the road h and the speed of the dump truck V from the traveled path l are obtained. The value of the height difference above sea level for all flights is 124.9 m for route No. 1, for route No. 2 – 57.5 m. The change in the speed of movement of a dump truck V in loaded and empty condition from the traveled path l for different routes is given. The speed of a dump truck can vary from 20 km/h to 40 km/h on flat sections of road, depending on operating conditions, weather conditions and the quality of the roadway. When driving on difficult sections such as ascents and descents, the speed can be from 5 km/h to 20 km/h. The average speed of an empty dump truck is 3.1 km/h higher than that of a loaded one. To optimize the operation of excavator-automobile complexes, it may be worth considering optimizing routes, in which it should be taken into account that a change in the height of the longitudinal profile (height above sea level) affects the speed of movement of a dump truck with a load capacity of 220 tons, which must be taken into account when designing roads on sections.

For citation: Dubinkin D.M., Diaghileva A.V., Dubinkin S.D., Turgenev I.A. The effect of the track coal mine on the speed of movement of a quarry dump truck with a load capacity of 220 tons. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*—Bulletin of the Kuzbass State Technical University. 2024; 6(166):110-119. (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1999-4125-2024-6-110-119, EDN: GVMVAK

Acknowledgment: 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-karenyx-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. Dubinkin D. M., Pashkov D.A. Import dependence of production of unmanned mining dump

trucks // Coal. – 2023. – № 4(1166). – Pp. 42-48. – DOI 10.18796/0041-5790-2023-4-42-48.

8. 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.

9. 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.

10. 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 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:

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

Anna V. Diaghileva – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Kemerovo, Russian Federation, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University; dyagileva1952@mail.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.

Anna V. Diaghileva - 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.

All authors have read and approved the final manuscript.

