

Научная статья

УДК 658.51

DOI: 10.26730/1816-4528-2025-3-91-96

Маслюков Сергей Павлович^{1, 2}¹Научно-исследовательский институт эффективности и безопасности горного производства²Южно-Уральский Государственный Университет

* для корреспонденции: maslyukovsergey@gmail.com

**ОЦЕНКА РЕЖИМА РАБОТЫ АВТОСАМОСВАЛОВ БЕЛАЗ
ПО КРИТЕРИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕСУРСА
ИХ ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ****Информация о статье**

Поступила:

10 февраля 2025 г.

Одобрена после

рецензирования:

30 апреля 2025 г.

Принята к печати:

20 июня 2025 г.

Опубликована:

05 июня 2025 г.

Ключевые слова:

двигатель внутреннего сгорания, режим работы, автосамосвал, квалификация, водитель, качество дорожного покрытия, расход топлива, ресурс, эффективность

Аннотация.

В данной статье автором представлен подход к оценке режима работы большегрузных карьерных автосамосвалов БелАЗ-75306 на отечественных угледобывающих предприятиях, позволяющий повышать ресурс двигателей внутреннего сгорания этих машин без привлечения значительных капитальных вложений.

Отличие данного подхода от общепринятых заключается в применении критерия эффективности использования ресурса ДВС автосамосвалов БелАЗ, определяемого отношением фактического ресурса ДВС до или между капитальных ремонтов к максимальной его величине, достигаемой однотипными двигателями в сопоставимых горно-геологических и климатических условиях работы. Построена матрица уровня квалификации водителей автосамосвалов и качества дорожного покрытия, с помощью которой можно прогнозировать диапазон удельного расхода дизельного топлива в 95-ом процентиле. Обосновано, что в зависимости от сочетания уровней квалификации водителей и качества дорожного покрытия следует выделять четыре режима работы автосамосвалов: щадящий, активно-форсированный, реактивно-форсированный, агрессивный. Выявлена связь эффективности использования ресурса как новых ДВС, так и прошедших первый и второй капитальные ремонты от выделенных режимов работы автосамосвалов. Установлена разница эффективности использования ресурса ДВС при изменении режима работы автосамосвала, относительно щадящего режима.

Для цитирования: Маслюков С.П. Оценка режима работы автосамосвалов БелАЗ по критерию эффективности использования ресурса их двигателя внутреннего // Горное оборудование и электромеханика. 2025. № 3 (179). С. 91-96. DOI: 10.26730/1816-4528-2025-3-91-96, EDN: WYJNOI

Введение

На сегодняшний день около 76% угля в России добывается на угольных месторождениях, разрабатываемых открытым способом добычи полезных ископаемых, ввиду его относительной дешевизны и возможности применения крупной и высокопроизводительной техники [1-3]. Практика показывает, что значимую долю – до 50% – в себестоимости добычи угля занимают расходы на организацию работы и ремонт карьерного транспорта и, в связи с этим, повышение эффективности процессов транспортирования горной массы является одной из самых актуальных задач [4-5]. В настоящее время

решение данной задачи затрудняется из-за того, что на ведущих угледобывающих предприятиях России применяются двигатели внутреннего сгорания (ДВС) зарубежного производства, на которые приходилось до 30% от стоимости владения карьерной техники на угледобывающих предприятиях [6-8]. Введение международных санкций от бывших поставщиков ДВС и комплектующих к ним обусловили затруднения в обеспечении требуемой работоспособности двигателей автосамосвалов БелАЗ на отечественных угледобывающих предприятиях устоявшимися методами. Как правило, в основе этих методов – оперативное восстановление ДВС

по факту выхода из строя, что, соответственно, обуславливает необходимость приобретения большего количества запасных частей, ограниченных в настоящее время. С учетом изложенного значимость приобретают задачи поиска и освоения резервов повышения эффективности использования ресурса ДВС автосамосвалов на угледобывающих предприятиях [9-11].

Ресурс – суммарная наработка объекта от начала его эксплуатации или ее возобновления после капитального ремонта до перехода в предельное состояние, при достижении которого объект должен быть снят с эксплуатации, направлен в капитальный ремонт, списан, уничтожен или передан для применения не по назначению (ГОСТ 27.002-89).

Эффективность использования ресурса ДВС – отношение фактического ресурса ДВС к максимальной его величине, достигаемой однотипными двигателями в сопоставимых горно-геологических и климатических условиях работы.

Режим работы оборудования – это характеристика качества управления оборудованием в процессе осуществления им функции в различных условиях работы.

Методика проведения исследования

Данное исследование проводилось с целью выявления возможностей роста эффективности использования ресурса двигателей внутреннего сгорания карьерных автосамосвалов путем улучшения состояния технологических автодорог и повышения квалификации водителей. Разработанная методика содержит в себе следующие этапы:

Объект исследования

Объектом исследования является двигатель Cummins QSK-60, работающий на автосамосвалах БелАЗ-75306 в условиях угледобывающего предприятия открытого способа разработки месторождений полезных ископаемых.

Выборка исследования

Исследование проводилось с использованием данных бортовых систем мониторинга работы автосамосвалов БелАЗ-75306 за период 2021-2024гг. Данная выборка содержит более 70 тыс. строк записей, содержащих информацию о 211 водителях, осуществлявших транспортирование горной массы на 474 трассах с различным плечом откатки, что суммарно заняло более 876 тыс. машино-часов работы 30 двигателей Cummins QSK-60.

Организация исследования

Исследование генеральной совокупности данных осуществлялось с использованием программы для работы с электронными таблицами MS Excel. Квалификация водителей оценивалась на основе анализа их работы в идентичных условиях дорожного покрытия. К водителям с высокой квалификацией отнесены те, кто выполняет норму по транспортированию горной массы без пиковых нагрузок, что подтверждается удельным расходом ДТ в 95-ом

процентиле. К водителям с низкой квалификацией отнесены те, кто работает с пиковыми нагрузками. Качество дорожного покрытия оценивалось на основе результатов работы водителей с высокой квалификацией. Если такой водитель выполнял норму по транспортированию горной массы без пиковых нагрузок, дорожное покрытие считалось высоким. В случае работы с пиковыми нагрузками качество дорожного покрытия оценивалось как низкое.

Воспроизводимость результатов

Воспроизводимость результатов исследования подтверждалась их повторяемостью в каждом исследуемом годовом периоде выборки исследования.

Результаты исследования

Исследованиями определено, что квалификация водителей и качество дорожного покрытия оказывают существенное влияние на величину удельного расхода дизельного топлива (ДТ), отражающего

Квалификация водителя	Качество дорожного покрытия	
	Низкое	Высокое
Высокая	215-245 гр/ткм	180-200 гр/ткм
Низкая	245-290 гр/ткм	190-230 гр/ткм

Рис. 1. Удельный расход ДТ в 95-ом процентиле по автосамосвалам БелАЗ-75306 разреза «Черногорский» при различных квалификации водителей и качества дорожного покрытия (по данным более 900 тыс. рейсов за период 2021-2023гг.)
Fig. 1. Specific fuel consumption in the 95th percentile by drivers of BelAZ-75306 dump trucks of the Chernogorsky open pit mine with different qualifications and road surface conditions (based on data from more than 900 thousand trips for the period 2021-2023)

меру изнашивания трущихся деталей в результате получаемой эксплуатационной нагрузки [12-14]. Для идентификации существующих режимов работы автосамосвалов БелАЗ проведена оценка влияния различных комбинаций состояний квалификации водителей и качества дорожного покрытия на величину удельного расхода ДТ и, соответственно, на эффективность использования ресурса ДВС (рис. 1).

В результате проведенной оценки определено, что величина удельного расхода ДТ, оцениваемая в 95-ом процентиле, может изменяться более чем в 1,5 раза в зависимости от различных комбинаций состояния квалификации водителя и качества дорожного покрытия. Выявленное влияние этих комбинаций на величину удельного расхода ДТ послужило основанием для выделения четырех режимов работы автосамосвалов.

В случае высоких квалификации водителей и качества дорожного покрытия реализуется щадящий режим, характеризующийся удельным расходом ДТ в 95-ом процентиле 180-200 гр/ткм. В слу-

чае низкой квалификации водителей и высокого качества дорожного покрытия реализуется активно-форсированный режим, характеризующийся повышением удельного расхода ДТ в среднем на 30% по отношению к первому – щадящему режиму. В случае высокой квалификации водителей и низкого качества дорожного покрытия реализуется реактивно-форсированный режим, характеризующийся повышением удельного расхода ДТ в среднем на 40% по отношению к первому режиму. В случае низких квалификации водителя и качества дорожного покрытия реализуется агрессивный режим, обуславливающий повышение удельного расхода ДТ в среднем на 60% по отношению к первому режиму.

Оценка и анализ режимов работы автосамосвалов позволили выявить их влияние на эффективность использования ресурса ДВС, характеризующееся экспоненциальной функцией с корреляционным отношением (R) -0,87 и коэффициентом аппроксимации (R^2) 0,83 (рис. 2).

На рисунке 2 маркерами (квадрат, круг, треугольник) отмечены ДВС предельное состояние которых наступило до 1-го капитального ремонта,

питательного ремонта. Это позволило сделать вывод, что количество проведенных капитальных ремонтов ДВС не существенно отражается на эффективности использования его ресурса по сравнению с влиянием режима работы автосамосвалов.

Основные результаты и выводы

На основе проведенного исследования были получены следующие результаты:

1. Определены четыре режима работы автосамосвалов БелАЗ по критерию эффективности использования ресурса ДВС:

- щадящий режим – управление оборудованием, при котором не допускаются его перегрузки и оборудование может работать наиболее длительное время в соответствии с заявленным ресурсом;
- активно-форсированный режим – управление оборудованием, при котором допускаются резкие и кратковременные «перегрузки ДВС», приводящие к накоплению необратимых повреждений и умеренному повышению интенсивности изнашивания сопряжений двигателя, обусловленные в значительной мере неудовлетворительной квалификацией водителя;
- реактивно-форсированный режим – управле-

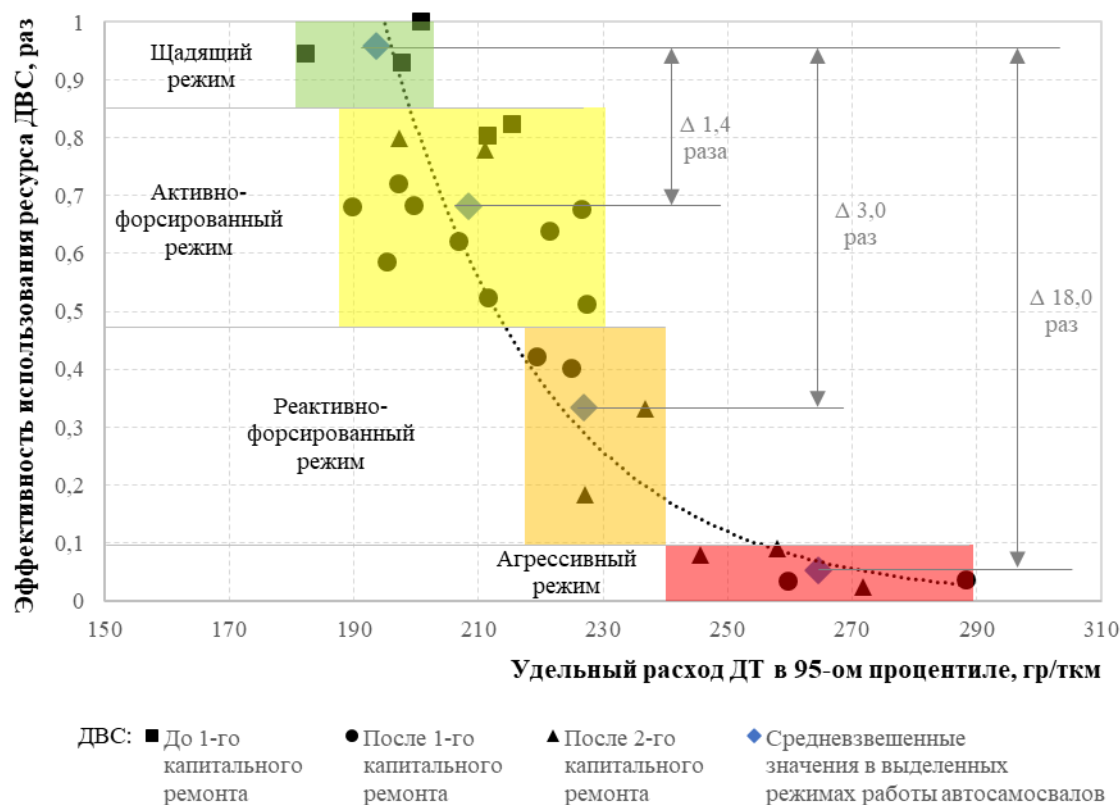


Рис. 2. График связи эффективности использования ресурса ДВС и удельного расхода ДТ в 95-м процентиле по автосамосвалам БелАЗ-75306 разреза «Черногорский» (по данным о наработке до предельного состояния 25 ДВС и более 900 тыс. рейсов автосамосвалов за период 2021-2023гг.)

Fig. 2. Graph of the relationship between the efficiency of using the internal combustion engine resource and the specific consumption of diesel fuel in the 95th percentile for BelAZ-75306 dump trucks of the Chernogorsky open pit mine

(based on data on the operation of 25 internal combustion engines to the limit state and more than 900 thousand trips of dump trucks for the period 2021-2023)

после 1-го капитального ремонта и после 2-го ка-

ние оборудованием, при котором допускаются рез-

кие и кратковременные «перегрузки ДВС», приводящие к накоплению необратимых повреждений и стремительному повышению интенсивности изнашивания сопряжений двигателя, обусловленные в значительной мере неудовлетворительным состоянием дорожного покрытия;

- агрессивный режим – управление оборудованием, при котором оно длительное время работает с пиковыми нагрузками, близкими к пределу прочности деталей, приводящих к мгновенному его выходу из строя или потере свойств без предварительных симптомов.

2. Установлены количественные зависимости эффективности использования ресурса ДВС при работе автосамосвалов в различных режимах (см. рис. 2):

- при работе автосамосвала в активнофорсированном режиме эффективность использования ресурса ДВС по отношению к эффективности его использования в щадящем режиме меньше в 1,4 раза;

- при работе автосамосвала в реактивнофорсированном режиме – в 3,0 раза;

- при работе автосамосвала в агрессивном режиме – в 18,0 раз.

3. Разработана методика оценки режимов работы автосамосвалов на основе показателей квалификации водителей и качества дорожного покрытия. Показано, что использование данной методики позволяет с достаточной надежностью прогнозировать момент выхода ДВС из строя. Основные этапы оценки:

- оценка и анализ фактической эффективности ресурса ДВС;

- оценка удельного расхода ДТ в 95-ом и 5-ом процентилих посменно при работе на всех маршрутах, по каждому водителю;

- выявление фактического и экономически целесообразного режима работы автосамосвала с учетом выявленной зависимости эффективности использования ресурса ДВС от удельного расхода ДТ в 95-ом процентиле.

Выводы:

1. Эффективность использования ресурса ДВС автосамосвалов БелАЗ тесно связана с режимом работы этих машин, который зависит от квалификации водителей и состояния дорожного покрытия.

2. Наиболее значительное снижение эффективности использования ресурса ДВС наблюдается при агрессивном режиме работы автосамосвалов, что подтверждает необходимость оценки целесообразности работы в таком режиме с точки зрения экономики предприятия.

3. Предложенная методика оценки режимов работы позволяет повысить результативность функционирования угледобывающих предприятий за счет изменения режимов работы автосамосвалов и, как следствие, снижения затрат на ремонт и замену ДВС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Канзычаков С.В., Азев В.А., Хажиев В.А., Леванов И.Г., Маслоков С.П. Методический подход к повышению эффективности использования ресурса двигателя внутреннего сгорания Cummins QSK-60 автосамосвалов БелАЗ-75306 на примере разреза «Черногорский» // Уголь. 2024. №11. С 87-93.
2. Головин С.И. Мониторинг изнашивания деталей дизеля, как средство оптимизации системы технического обслуживания: автореф... дис. кан. техн. наук. – М: 2007. – 18 с.
3. Гулати Р. Техническое обслуживание и надежность. Лучшие практики / Рамеш Гулати; пер. с англ. К. Зырянов, В. Смирнов; под ред. К. Зырянова, Б. Каца; – Екатеринбург: ИП К.А. Зырянов, 2023. – 792 с.
4. Бойков В.П., Абдураззоков У.А., Анваржонов А.А. Анализ дорожных условий эксплуатации карьерных самосвалов в республике Узбекистан // Транспорт и транспортные системы: конструирование, эксплуатация, технологии. 2023. С 118-124.
5. Чернов А.И., Коркина Т.А., Овешников Ю.М. Оценка резервов повышения эффективности использования экскаваторно-автомобильного комплекса на угольном разрезе // Экономика промышленности. 2021. №1. С 89-96.
6. Гуцин А.И., Колобанов С.В., Гавришев С.Е., Грязнов М.В., Санников К.Б. Нормирование расхода дизельного топлива при эксплуатации автосамосвалов // Экономика и производство. 2006. №3. С 51-55.
7. Гермагенов С.С., Ноговицын Р.Р. Расход дизельного топлива при работе грузовых автомобилей на холостом ходу двигателя в условиях крайнего севера // Проблемы науки. 2019. №6. С 28-31.
8. Лель Ю.И., Мусихина О.В., Глебов И.А., Зырянов И.В., Ильбульдин Д.Х. Методика нормирования расхода топлива автосамосвалами в глубоких карьерах // Известия Уральского Государственного Горного Университета. 2017. №4. С 66-71.
9. Довженок А.С. Я и автотранспорт: что удалось понять и какие новые вопросы появились // Титул. 2022, с 27.
10. Довженок А.С. Повышение эффективности карьерного транспорта совершенствованием параметров его подсистем с использованием энергетического критерия: дис. кан. техн. наук. – Екатеринбург.: 1992. – 124 с.
11. Galbadrakh Sandag, Purevsuren Jamyan-Osor, Odgerel Natsag. Development of diagnostic parameters for assessing the operation of a diesel engine on site // Mongolian Journal of Agricultural Sciences. 2023. Vol.16. No.38. DOI: <https://doi.org/10.5564/mjas.v16i38.3131>.
12. Лель Ю.И., Глебов И.А., Мусихина О.В., Ганиев Р.С., Хардик Н.В. Энергетический метод оценки и систематизации условий эксплуатации карьерного автотранспорта // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2020. № 8. С 14-25.
13. Deni Wahyudi Sikap Pengemudi Dump Truck Terhadap Safety Driving // MEDIA KESEHATAN MASYARAKAT INDONESIA 2021. №2. P 134-138.
14. Suwignyo. Pengawasan, Sikap dan Pengetahuan Kesehatan dan Keselamatan Kerja dengan Perilaku Aman Pekerja pada Bagian Driver Dump Truck Coal di PT. Mitra Indah Lestari Samarinda // Jurnal Penelitian Kesehatan Suara Forikes 2022. №13. P 98-102.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Об авторах:

Маслюков Сергей Павлович, младший научный сотрудник, Научно-исследовательский институт эффективности и безопасности горного производства (299053, Россия, г. Челябинск, ул. Энтузиастов, 30), аспирант кафедры Автомобиля и автомобильного сервиса, Южно-Уральский Государственный Университет (454080, Россия, г. Челябинск, ул. Ленина, 70), ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-1078-1623>, e-mail: maslyukovsergey@gmail.com

Заявленный вклад авторов:

Маслюков Сергей Павлович – постановка исследовательской задачи, научный менеджмент, обзор соответствующей литературы, концептуализация исследования, сбор и анализ данных, обзор соответствующей литературы, выводы, написание текста.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Original article

DOI: 10.26730/1816-4528-2025-3-91-96

Sergey P. Maslyukov^{1, 2}

¹ Research Institute for Efficiency and Safety of Mining Production

² South Ural State University

* for correspondence: maslyukovsergey@gmail.com

ASSESSMENT OF THE OPERATING MODE OF BELAZ DUMP TRUCKS BY THE CRITERION OF THE EFFICIENCY OF USE OF THE RESOURCE OF THEIR INTERNAL COMBUSTION ENGINE



Article info

Received:

10 February 2025

Accepted for publication:

30 April 2025

Accepted:

20 June 2025

Published:

26 June 2025

Keywords: internal combustion engine, operating mode, dump truck, qualification, driver, road surface quality, fuel consumption, resource, efficiency

Abstract.

In this article, the author presents an approach to assessing the operating mode of heavy-duty BelAZ-75306 quarry dump trucks at domestic coal mining enterprises, which allows increasing the service life of internal combustion engines of these machines without attracting significant capital investments.

The difference between this approach and the generally accepted ones is the application of the criterion of efficiency of the use of the internal combustion engine resource of BelAZ dump trucks, determined by the ratio of the actual internal combustion engine resource before or between major repairs to its maximum value achieved by the same type of engines in comparable mining, geological and climatic operating conditions. A matrix of the skill level of dump truck drivers and the quality of the road surface has been constructed, which can be used to predict the range of specific diesel fuel consumption in the 95th percentile. It is substantiated that depending on the combination of driver qualification levels and road surface quality, four operating modes of dump trucks should be distinguished: gentle, actively forced, reactive forced, aggressive. A relationship was found between the efficiency of resource use of both new ICEs and those that have undergone the first and second major repairs from the distinguished operating modes of dump trucks. The difference in the efficiency of using the internal combustion engine resource was established when changing the operating mode of a dump truck, relative to the gentle mode.

For citation: Maslyukov S.P. Assessment of the operating mode of BelAZ dump trucks by the criterion of the efficiency of use of the resource of their internal combustion engine. Mining Equipment and Electromechanics, 2025; 3(179):91-96 (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1816-4528-2025-3-91-96, EDN: WYJNOI

REFERENCES

1. Kanzychakov S.V., Azev V.A., Khazhiev V.A., Levanov I.G., Maslyukov S.P. Methodological approach to improving the efficiency of using the resource of the Cum-

mins QSK-60 internal combustion engine of BelAZ-75306 dump trucks on the example of the Chernogorsky open-pit mine // Coal. 2024. No. 11. P. 87-93.

2. Golovin S.I. Monitoring the wear of diesel parts as a means of optimizing the maintenance system: author's abstr. diss. can. tech. sciences. - M: 2007. - 18 p.
3. Gulati R. Maintenance and Reliability. Best Practices / Ramesh Gulati; trans. from English by K. Zyryanov, V. Smirnov; edited by K. Zyryanov, B. Katz; - Ekaterinburg: IP K.A. Zyryanov, 2023. - 792 p.
4. Boykov V.P., Abdurazzokov U.A., Anvarzhonov A.A. Analysis of road conditions of operation of quarry dump trucks in the Republic of Uzbekistan // Transport and transport systems: design, operation, technology. 2023. P. 118-124.
5. Chernov A.I., Korkina T.A., Oveshnikov Yu.M. Assessment of reserves for increasing the efficiency of using an excavator-truck complex at a coal mine // Industrial Economics. 2021. No. 1. P. 89-96.
6. Gushchin A.I., Kolobanov S.V., Gavrishchev S.E., Gryaznov M.V., Sannikov K.B. Standardization of diesel fuel consumption during operation of dump trucks // Economics and Production. 2006. No. 3. P. 51-55.
7. Germagenov S.S., Nogovitsyn R.R. Diesel fuel consumption during engine idle operation of trucks in the Far North // Problemy nauki. 2019. No. 6. P. 28-31.
8. Lel Yu.I., Musikhina O.V., Glebov I.A., Zyryanov I.V., Ilbuldin D.Kh. Methodology for standardizing fuel consumption by dump trucks in deep quarries // Bulletin of the Ural State Mining University. 2017. No. 4. P. 66-71.

9. Dovzhenok A.S. Me and motor transport: what was understood and what new questions arose // Title. 2022, p. 27.
10. Dovzhenok A.S. Increasing the efficiency of quarry transport by improving the parameters of its subsystems using the energy criterion: diss. can. tech. sciences. - Ekaterinburg.: 1992. - 124 p.
11. Galbadrakh Sandag, Purevsuren Jamyan-Osor, Odgerel Natsag. Development of diagnostic parameters for assessing the operation of a diesel engine on site // Mongolian Journal of Agricultural Sciences. 2023. Vol.16. No.38. DOI: <https://doi.org/10.5564/mjas.v16i38.3131>.
12. Lel Yu.I., Glebov I.A., Musikhina O.V., Ganiev R.S., Hardik N.V. Energy method for assessing and systematizing operating conditions of quarry vehicles // News of higher educational institutions. Mining journal. 2020. No. 8. P. 14-25.
13. Deni Wahyudi Sikap Pengemudi Dump Truck Terhadap Safety Driving // MEDIA KESEHATAN MASYARAKAT INDONESIA 2021. №2. P 134-138.
14. Suwignyo. Pengawasan, Sikap dan Pengetahuan Kesehatan dan Keselamatan Kerja dengan Perilaku Aman Pekerja pada Bagian Driver Dump Truck Coal di PT. Mitra Indah Lestari Samarinda // Jurnal Penelitian Kesehatan Suara Forikes 2022. №13. P 98-102.

© 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:

Sergey P. Maslyukov, Junior Researcher, Research Institute for Efficiency and Safety of Mining Production (299053, Russia, Chelyabinsk, Entuziastov St., 30), postgraduate student of the Department of Automobiles and Automobile Service, South Ural State University (454080, Russia, Chelyabinsk, Lenin St., 70), ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-1078-1623>, e-mail: maslyukovsergey@gmail.com

Contribution of the authors:

Sergey P. Maslyukov – formulation of a research task, scientific management, review of relevant literature, conceptualization of research, collection and analysis of data, review of relevant literature, conclusions, writing the text.

The claimed contribution of the authors:

Authors have read and approved the final manuscript.

