

**Бочкарев Юрий Семенович**, старший преподаватель, **Бояров Михаил Михайлович**, студент

Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова, 677016, Россия, Республика Саха (Якутия), г. Якутск, ул. Кулаковского, 50

E-mail: ys.bochkarev@s-vfu.ru

## **ФАКТОРЫ, ЛИМИТИРУЮЩИЕ БЕЗОТКАЗНОСТЬ АВТОСАМОСВАЛОВ БЕЛАЗ-7540 НА РОССЫПНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ СЕВЕРА**

***Аннотация:** При разработке месторождений твердых полезных ископаемых открытым способом важным технологическим процессом является транспортирование горной массы. Перевозка горной массы в основном осуществляется карьерными автосамосвалами. От работоспособности карьерных автосамосвалов зависит эффективность работы горного предприятия. При освоении запасов россыпных месторождений Арктической зоны России широкое применение нашли карьерные автосамосвалы БелАЗ-7540, работоспособность которых в научно-технической литературе раскрыта мало, в частности, не исследовано влияние сезонной организации горных работ. Эксплуатация карьерных автосамосвалов на россыпных месторождениях Арктической зоны России имеет особенности, такие как большая удаленность от промышленных и энергетических центров, отсутствие круглогодичной дорожной связи, низкие климатические температуры и сезонная организация горных работ. В связи с вышеизложенным целью исследования заключается в установлении факторов, лимитирующих работоспособность карьерных автосамосвалов БелАЗ-7540 на россыпных месторождениях Арктической зоны России. При исследовании работоспособности карьерных автосамосвалов БелАЗ-7540 использованы статистический и аналитический методы анализа. В результате обработки статистической информации об отказах установлено, что факторами, лимитирующими работоспособность карьерных автосамосвалов, являются сезонная организация горнотранспортных работ, и абразивный износ деталей их ходовой части.*

***Ключевые слова:** россыпные месторождения, факторы, число отказов, условия работы, эффективность, ходовая часть, зависимость.*

***Информация о статье:** принята 06 февраля 2020 г.  
DOI: 10.26730/1816-4528-2020-1-16-22*

Обзор исследований в области освоения запасов твердых полезных ископаемых россыпных месторождений [1-4] показывает, что территория арктического шельфа является стратегически важной, открытие и разработка месторождений будет продолжаться. Поэтому проблемы и задачи, связанные с добычей полезных ископаемых, будут оставаться актуальными. Среди таких задач стоит вопрос эффективного использования горных машин, особенно горнотранспортных, затраты на эксплуатацию которых составляют до 50% себестоимости добытого сырья. Исследователями посвящено много внимания оптимизации использования горнотранспортных средств [5-15], но вопрос остается открытым, т.к. конструкции машин, условия эксплуатации и режимы их использования различаются, поэтому универсальных рекомендаций нет.

При разработке россыпных месторождений Арктической зоны России широкое применение нашли карьерные автосамосвалы грузоподъемностью 30-40 тонн. Данный класс грузоподъемности представлен карьерными автосамосвалами БелАЗ-7540, Komatsu HD 405-6, Caterpillar 770 и Perlini DP 405, которые являются основным технологическим транспортом [15, 16]. Более

распространенным среди них является карьерный автосамосвал БелАЗ-7540. Исследованию его работоспособности посвящено не так много работ, особенно в условиях россыпных месторождений Арктической зоны России. Таким образом, установлено, что существует научно-практическая задача, требующая решения, заключающаяся в исследовании факторов, оказывающих лимитирующее действие на работоспособность карьерных автосамосвалов БелАЗ-7540, используемых на россыпных месторождениях Арктической зоны России.

Эксплуатация горных машин на россыпных месторождениях Арктической зоны России имеет специфику, заключающуюся в сезонной организации горных работ, при которой в теплое время года происходит интенсивное использование автосамосвалов.

В данном исследовании выделено два периода использования машин – «умеренный» и «холодный». К «умеренному» периоду отнесены месяцы со среднесуточной температурой окружающего воздуха выше  $-10^{\circ}\text{C}$  – с мая по сентябрь. К «холодному» периоду отнесены месяцы со среднесуточной температурой окружающего воздуха

Таблица 1. Число отказов автосамосвалов БелАЗ-7540

Table 1. Number of BelAZ-7540 dump trucks failures

Система		Число отказов			Увеличение числа отказов в %
		в холодный период времени года	в умеренный период времени года	сумма отказов	
подвеска		242	339	703	29
ведущий мост		96	233	396	59
колеса и шины		120	202	382	41
тормозные системы		112	189	345	41
электрооборудование		128	138	326	7
силовая установка и системы	двигатель, система смазки	87	71	197	-23
	система охлаждения двигателя	87	88	224	1
	система питания двигателя	56	69	153	19
	система выпуска отработавших газов	23	40	74	43
	всего	253	268	648	6
трансмиссия		93	114	267	18
кабина, оперение, платформа		62	63	153	2
передняя ось		37	65	113	43
рулевое управление		15	53	78	72
опрокидывающий механизм		17	19	43	11
<b>Всего</b>		<b>1175</b>	<b>1683</b>	<b>3454</b>	<b>30</b>

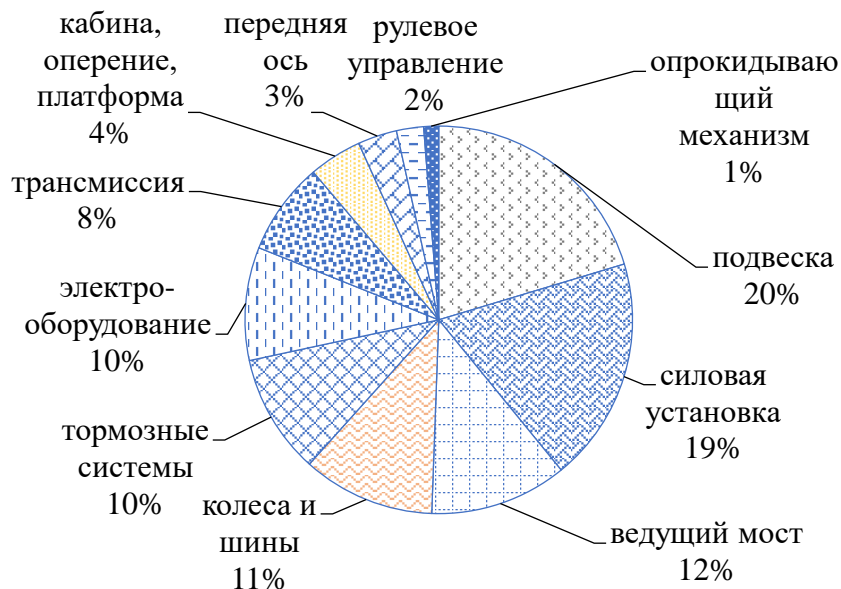


Рис. 1. Удельный вес отказов систем исследованных автосамосвалов

Fig. 1. Percentage ratio of failures of the reviewed dump trucks

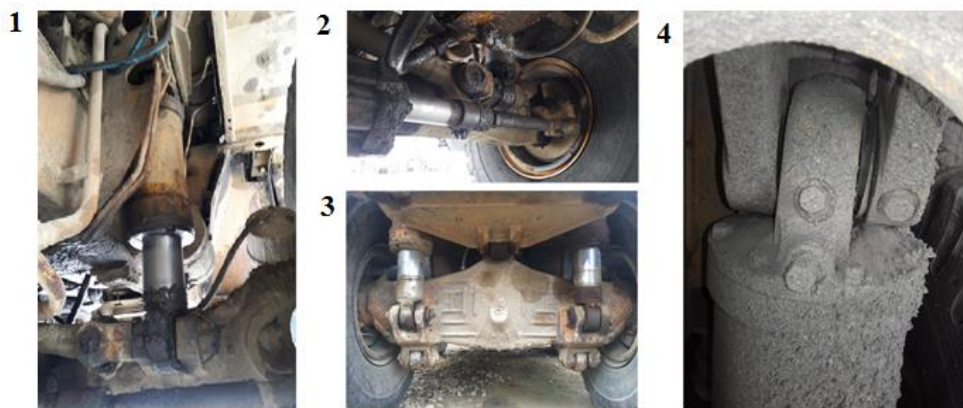
ниже - 10°C – с ноября по март. Апрель и октябрь являются переходными.

Цель исследования достигается за счет использования статистических и аналитических методов анализа при обработке информации о числе отказов и об объемах горнотранспортных

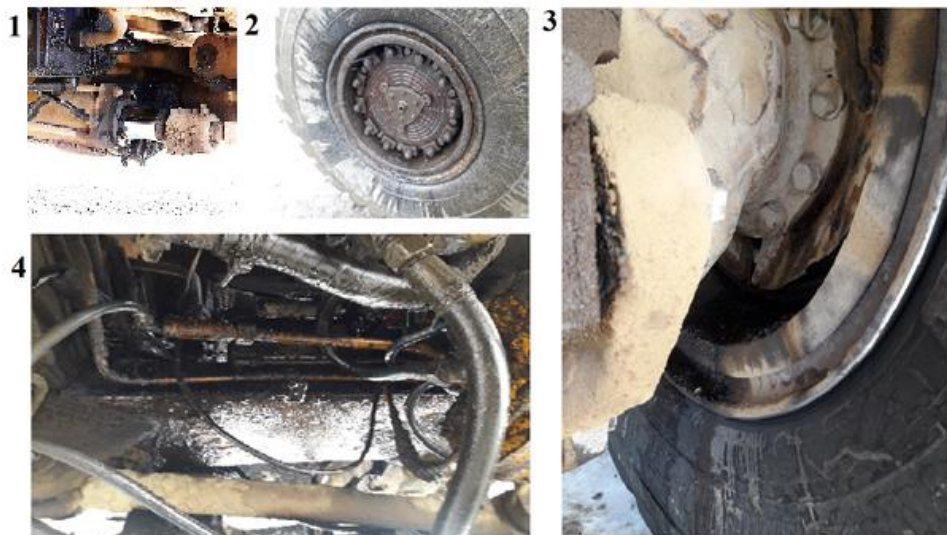
работ. Имеющаяся информация по работе и отказам 10 карьерных автосамосвалов на прииске «Маят» за три года была сгруппирована по системам автосамосвалов, являющимся базовыми для любого автосамосвала (таблица 1).



*Рис. 2. Условия работы при добычных работах  
Fig. 2. Working conditions at extracting operations*



*Рис. 3. Гидроцилиндры: 1 – подвески передней оси, 2 – рулевого управления, 3 – подвески ведущего моста, 4 – поврежденный сальник опоры гидроцилиндра ведущего моста  
Fig. 3. Hydraulic cylinders: 1 – front axle suspension, 2 – steering suspension, 3 – drive axle suspensions, 4 – damaged gland of drive axle cylinder mounting block*



*Рис. 4. Типичные дефекты: 1 – течь рабочей жидкости рулевого управления, 2, 3 – течь бортового редуктора, 4 – потеки рабочих жидкостей  
Fig. 4. Typical defects: 1 – leakage of steering system hydraulic oil, 2, 3 – leakage of on-board gearbox hydraulic oil, 4 – streaks of hydraulic oil*

По информации, приведенной в таблице, видно, что более 50% от общего числа отказов связано с неисправностями подвески, силовой установки, ведущего моста (рис. 1).

Констатируем, что отказы данных систем лимитируют безотказность исследуемых



Рис. 5. Места трещинообразования: 1 – трещина контрфорсы кузова, 2 – трещина по сварному шву страховочной серьги, 3 – трещина по ремонтному шву вилки задней подвески

Fig. 5. Points of cracking: 1 – fracture on body buttress, 2 – fracture along safety shackle weld, 3 – fracture along the repair weld on rear suspension fork

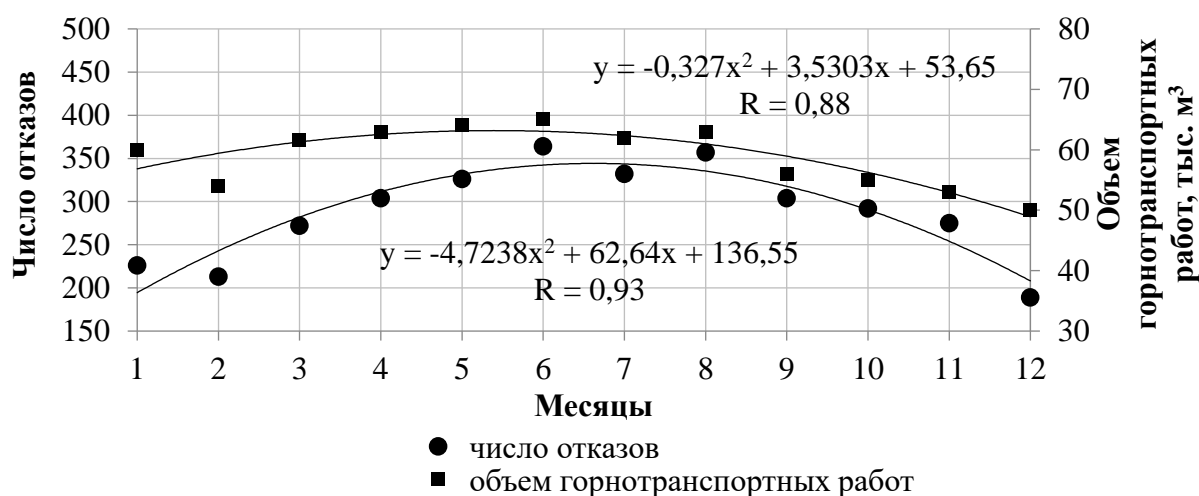


Рис. 6. Зависимость объема горнотранспортных работ и числа отказов автосамосвалов БелАЗ-7540 от месяца года

Fig. 6. Dependence of the volume of transport operations and the number of failures of BelAZ-7540 dump trucks on the month of the year

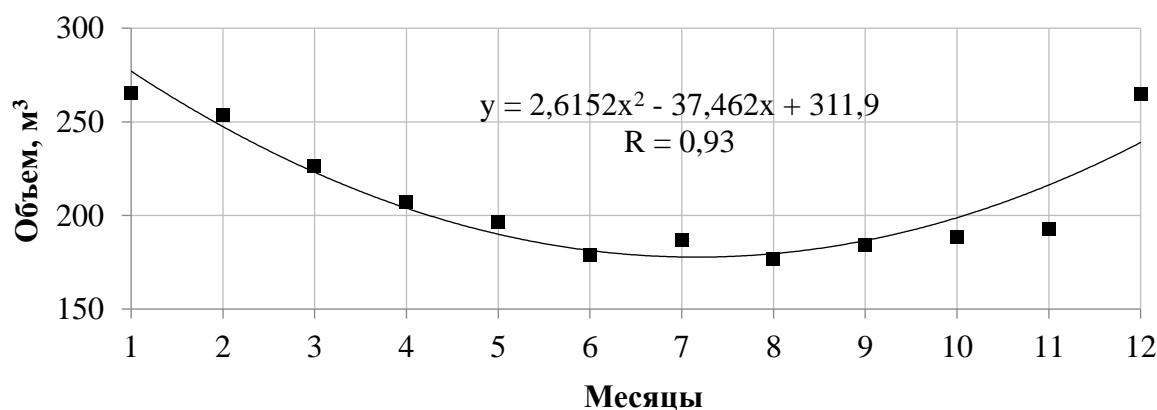


Рис. 7. Объем выполненных горнотранспортных работ карьерными автосамосвалами БелАЗ-7540 между отказами

Fig. 7. Volume of transport operations between failures of BelAZ-7540 dump trucks

автосамосвалов. Кроме, того 38% отказов связано с неисправностями систем, имеющих значительное увеличение числа отказов в «умеренный» период времени года.

Также видно, что число отказов увеличивается в «умеренный» период времени года. В частности, значительно увеличивается число отказов

систем, относящихся к ходовой части: рулевое управление 72%, ведущий мост 59%, передняя ось 43%, колеса и шины 41%, тормозные системы 41%, подвеска 29%.

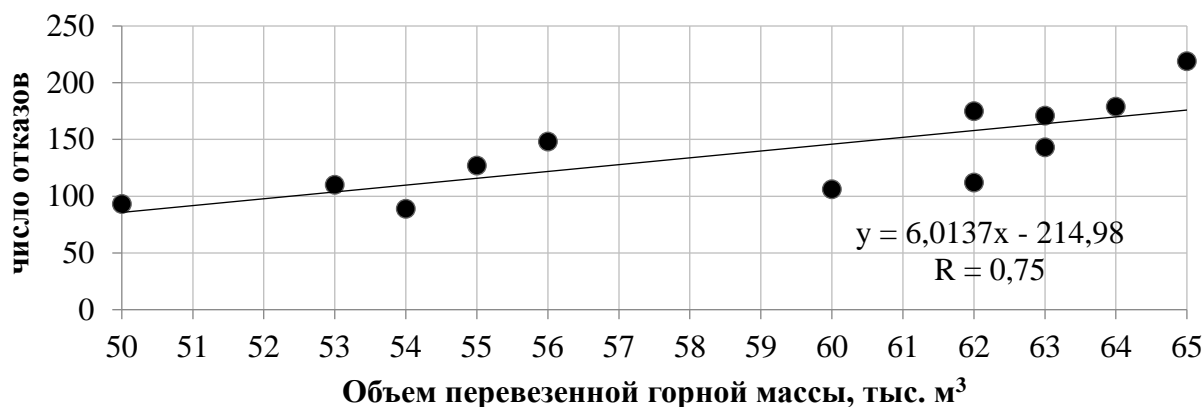


Рис. 8. Зависимость между объемом горнотранспортных работ и числом отказов карьерных автосамосвалов БелАЗ-7540

Fig. 8. Dependence of the volume of transport operations on the number of failures of BelAZ-7540 dump trucks

Увеличение числа отказов систем, относящихся к ходовой части, связано с абразивным износом их деталей из-за оттаивания горного массива. Необходимо подчеркнуть, что исключить движение машин по бездорожью, особенно в забое, невозможно. Условия работы представлены на рис. 2.

Частицы горной породы, смешиваясь с водой, с рабочими жидкостями, со смазочными материалами, превращаются в абразив, ускоряющий изнашивание трущихся поверхностей. Грязь, налипая на поверхности и забиваясь в различные полости и зазоры, изнашивает детали машин. Повреждение пыльников опор гидроцилиндров подвески, различных тяг, а также отсутствие пыльников-чехлов на гидроцилиндрах, течь рабочих жидкостей являются усугубляющими факторами (рис. 3). Стоит отметить, что пыльники выполняют функции удержания смазки и защиты от грязи, пыльники-чехлы предотвращают налипание пыли на штоке гидроцилиндра и препятствуют соответственно образованию «ступенек» о которые ударяются уплотнения гидроцилиндра.

Отсутствие пыльников на гидроцилиндрах подвески (рис. 3) способствует ускоренному изнашиванию штоков цилиндров и уплотнительных колец, что приводит к протечкам гидравлической жидкости и необходимости заправки гидроцилиндров. На рис. 4 приведены типичные дефекты, возникающие во время эксплуатации машин, происходящие вследствие повреждения уплотнений. Удельный вес таких неисправностей составляет 35%.

Необходимо подчеркнуть, что утечка рабочих жидкостей приводит к их увеличенному расходу на долив, что в условиях плохо развитой дорожной и производственной инфраструктуры, сложной логистики по ее доставке приводит к нерациональному ее использованию и перерасходу.

Развитие трещин на металлоконструкциях рамы – лонжеронах и поперечинах – не было зафиксировано. Трещины возникают на контрфорсах платформы, на сварных швах платформы (рис. 5).

Сезонная организация горных работ накладывает отпечаток на работоспособность исследуемых карьерных автосамосвалов. Влияние сезонности показывают графики выполненных объемов горнотранспортных работ и числа отказов (рис. 6). Видно, что в «умеренное» время года увеличивается и число отказов, и объем горнотранспортных работ.

По приведенным данным на графиках (рис. 6) рассчитан объем перевезенной горной массы карьерными автосамосвалами БелАЗ-7540 между отказами (рис. 7). Из графика видно, что объем перевезенной горной массы в «умеренный» период времени года снижается в 1,3 раза по сравнению с «холодным» периодом года, что свидетельствует о низкой работоспособности исследуемых карьерных автосамосвалов в условиях россыпных месторождений Арктической зоны России.

Характер изменения кривой аппроксимации числа отказов систем ходовой части к объему горнотранспортных работ с коэффициентом корреляции 0,75 свидетельствует о том, что увеличение объема горнотранспортных работ более чем на 20% в промывочный сезон приводит к увеличению числа отказов ходовой части карьерных автосамосвалов БелАЗ-7540 почти в 2 раза.

В результате исследования работоспособности карьерных автосамосвалов БелАЗ-7540 на россыпных месторождениях Арктической зоны России установлены факторы, влияющие на их работоспособность, к которым относятся абразивный износ деталей ходовой части и сезонная организация горнотранспортных работ. Интенсивный абразивный износ деталей ходовой части карьерных автосамосвалов БелАЗ-7540 происходит из-за отсутствия и повреждения пыльников шарнирных соединений при движении их по грязи, что приводит к увеличению числа их отказов в период интенсивного использования почти в 2 раза. Увеличение объема горнотранспортных работ в период промывочного сезона более чем на 20% приводит к увеличению числа отказов ходовой части карьерных автосамосвалов БелАЗ-7540 почти в 2 раза.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бортников Н.С. Арктические ресурсы стратегических металлов в глобальной перспективе / Н.С. Бортников, К.В. Лобанов, А.В. Волков, А.Л. Галямов, А.В. Лаломов, К.Ю. // URL: [www.ras.ru/FStorage/Download.aspx?id=199abc0f-322c-4da9-8ce0-2ecdc7eb2ab7](http://www.ras.ru/FStorage/Download.aspx?id=199abc0f-322c-4da9-8ce0-2ecdc7eb2ab7) (дата обращения: 08 апреля 2019 г.)
2. Лаломов А.В. Россыпные месторождения Арктической зоны России: современное состояние и пути развития минерально-сырьевой базы / А.А. Бочнева, Р.М. Чефранов, А.В. Чефранова / Арктика: экология и экономика. -2015. - № 2 (18). - С. 66-77.
3. Добрецов Н.Л. Минеральные ресурсы Российской Арктики и проблемы их освоения в современных условиях / Н.Л. Добрецов, Н.П. Похиленко // Научный журнал «Геология и геофизика». - 2010. - т. 51. - № 1. - С. 126-141.
4. Данилов Г.Ю. Перспективы добычи алмазов в арктических районах Республики Саха (Якутия) / Ю.Г. Данилов, Г.Е. Петухов // Экономический анализ: теория и практика. - 2013. - №5 (308) - С. 69-72.
5. Карьерный автотранспорт стран СНГ в XXI веке / Мариев П.Л., Кулешов А.А., Егоров А.Н., Зырянов И.В. - СПб.: Наука, 2006. - 387 с.
6. Корецкий В.Б. Актуальные задачи эксплуатации горно-транспортных машин в жестких климатических условиях // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2009. - Т.10. - №12. - С. 262-277.22.
7. Парунакян В.Э., Артамонова Ю.В. Оценка влияния основных технико-эксплуатационных показателей на срок службы большегрузных автосамосвалов БелАЗ-7540 // Вестник Приазовского государственного технического университета. - 2007. - №17. - С. 189-192.
8. Андреева Л.И., Ушаков Ю.Ю. Исследование эксплуатационной надежности карьерных автосамосвалов // Известия Уральского государственного горного университета. - 2016. - № 3. - С. 74-77.
9. Yonggang Chang, Huizhi Ren, Shijie Wang. Modelling and Optimizing an Open-Pit Truck Scheduling Problem // Discrete Dynamics in Nature and Society. - 2015. - 8 P. DOI:10.1155/2015/745378.
10. Ercelebi S.G., Bascetin A. Optimization of shovel-truck system for surface mining // Journal-South African Institute of Mining and Metallurgy. - 2009. - V. 109. P. 433-439.
11. Allahkarami, Zeynab & Sayadi, Ahmad Reza & Lanke, Amol Reliability Analysis of Motor System of Dump Truck for Maintenance Management // Current Trends in Reliability, Availability, Maintainability and Safety: An Industry Perspective. - 2016. - pp. 681-688. DOI: 10.1007/978-3-319-23597-4\_50
12. Tumanggor, Agustina Reliability value analysis of dump truck 108 unit (case study: South Kalimantan coal mining company) // The 6th International conference on manufacturing, optimization, industrial and material engineering: MOIME18. - 2018. DOI: 10.1063/1.5080072.
13. Anistratov K. ANV Group Ltd. Experience of operation of BelAZ dump trucks in Russian open-pit mines // Eighteenth International Symposium on Mine. - 2009. - pp. 10-19.
14. Panagiotis Tsarouhas Statistical analysis of failure data for estimating reliability, availability and maintainability of an automated croissant production line // Journal of Quality in Maintenance Engineering. - 2019. - №78 (3). - pp. 247-258. DOI: 10.1016/S0951-8320(02)00167-9
15. Чебан А.Ю., Секисов Г.В., Хрунина Н.П. Структурный анализ технических средств, задействованных при добыче строительных горных пород на юге Дальневосточного региона // Горная промышленность. - 2013. - №4. - С. 26-29.
16. Bochkaryov Y.S. Operating efficiency of BelAZ-7540 dump trucks under conditions of North / Ishkov Alexander M., Makhno Dmitry E. // AER-Advances in Engineering Research. - Vol. 133. - 2017. - pp. 269-274.

**Yuri S. Bochkaryov**, senior lecturer, **Mikhail M. Boyarov**, student

M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, 677016, 50 street Kulakovskogo, Yakutsk, Republic of Sakha (Yakutia), Russian Federation

## FACTORS IMPACTING FAILURE-FREE OPERATION OF BELAZ-7540 DUMP TRUCKS AT THE PLACER DEPOSITS OF THE NORTH

**Abstract:** Transportation of rock mass is an important technological process in the open-pit mining. Rock mass transporting is mainly carried out by dump trucks. The efficiency of the mining company depends on the reliability of the dump trucks. In the Arctic region of Russia, BelAZ-7540 dump trucks are widely used in placer deposit development. The reliability of these dump trucks is poorly studied in scientific and technical literature, in particular, the influence of seasonal organization of mining works. Operation of dump trucks on placer deposits in the Arctic region of Russia has negative factors such as a large distance from industrial and energy centers, lack of year-round traffic, low climate temperatures and seasonal organization of mining operations. In connection with the above, the purpose of the research is to determine the factors that limit the reliability of BelAZ-7540 dump trucks on placer deposits in the Arctic region of Russia. Statistical and analytical methods of analysis were used to study the reliability of BelAZ-7540 dump trucks. As a result of statistical failure data processing, it was found that the factors limiting the reliability of dump trucks are seasonal organization of mine transport operation, and abrasion of trucks chassis components.

**Keywords:** placer deposits, factors, number of failures, exploitation conditions, efficiency, chassis, relationship.

**Article info:** received February 06, 2020

DOI: 10.26730/1816-4528-2020-1-16-22

#### REFERENCES

1. Bortnikov N.S. Arkticheskie resursy strategicheskikh metallov v global'noj perspektive / N.S. Bortnikov, K.V. Lobanov, A.V. Volkov, A.L. Galyamov, A.V. Lalomov, K.YU. // URL: www.ras.ru/FStorage/Download.aspx?id=199abc0f-322c-4da9-8ce0-2ecdc7eb2ab7 (data obrashheniya: 08 aprelya 2019 g.)
2. Lalomov A.V. Rossypnye mestorozhdeniya Arkticheskoy zony Rossii: sovremennoe sostoyanie i puti razvitiya mineral'no-syr'evoy bazy / A.A. Bochneva, R.M. CHEfranov, A.V. CHEfranova / Arktika: ehkologiya i ehkonomika. -2015. - № 2 (18). - S. 66-77.
3. Dobretsov N.L. Mineral'nye resursy Rossijskoj Arktiki i problemy ikh osvoeniya v sovremennykh usloviyakh / N.L. Dobretsov, N.P. Pokhilenko // Nauchnyj zhurnal «Geologiya i geofizika». - 2010. - t. 51. - № 1. - S. 126-141.
4. Danilov G.Yu. Perspektivy dobychi almazov v arkticheskikh rajonakh Respubliki Sakha (Yakutiya) / Yu.G. Danilov, G.E. Petukhov // Ekonomicheskij analiz: teoriya i praktika. - 2013. - №5 (308) - S. 69-72.
5. Kar'ernyj avtotransport stran SNG v XXI veke / Mariev P.L., Kuleshov A.A., Egorov A.N., Zyryanov I.V. - SPb.: Nauka, 2006. - 387 s.
6. Koretskiy V.B. Aktual'nye zadachi ehkspluatatsii gorno-transportnykh mashin v zhestkikh klimaticheskikh usloviyakh // Gornyj informatsionno-analiticheskij bYulleten'. - 2009. - T.10. - №12. - S. 262-277.22.
7. Parunakyan V.Eh., Artamonova Yu.V. Otsenka vliyaniya osnovnykh tekhniko-ehkspluatatsionnykh pokazatelej na srok sluzhby bol'shegruznykh avtosamosvalov BelAZ-7540 // Vestnik Priazovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. - 2007. - №17. - S. 189-192.
8. Andreeva L.I., Ushakov Yu.Yu. Issledovanie ehkspluatatsionnoj nadezhnosti kar'ernykh avtosamosvalov // Izvestiya Ural'skogo gosudarstvennogo gornogo universiteta. - 2016. - № 3. - S. 74-77.

9. Yonggang Chang, Huizhi Ren, Shijie Wang. Modelling and Optimizing an Open-Pit Truck Scheduling Problem // Discrete Dynamics in Nature and Society. - 2015. - 8 P. DOI:10.1155/2015/745378.
10. Ercelebi S.G., Bascetin A. Optimization of shovel-truck system for surface mining // Journal-South African Institute of Mining and Metallurgy. - 2009. - V. 109. P. 433-439.
11. Allahkarami, Zeynab & Sayadi, Ahmad Reza & Lanke, Amol Reliability Analysis of Motor System of Dump Truck for Maintenance Management // Current Trends in Reliability, Availability, Maintainability and Safety: An Industry Perspective. - 2016. - pp. 681-688. DOI: 10.1007/978-3-319-23597-4\_50
12. Tumanggor, Agustina Reliability value analysis of dump truck 108 unit (case study: South Kalimantan coal mining company) // The 6th International conference on manufacturing, optimization, industrial and material engineering: MOIME18. - 2018. DOI: 10.1063/1.5080072.
13. Anistratov K. ANV Group Ltd. Experience of operation of BelAZ dump trucks in Russian open-pit mines // Eighteenth International Symposium on Mine. - 2009. - pp. 10-19.
14. Panagiotis Tsarouhas Statistical analysis of failure data for estimating reliability, availability and maintainability of an automated croissant production line // Journal of Quality in Maintenance Engineering. - 2019. - №78 (3). - pp. 247-258. DOI: 10.1016/S0951-8320(02)00167-9
15. Cheban A.Yu., Sekisov G.V., Khrunina N.P. Strukturnyj analiz tekhnicheskikh sredstv, zajedstvovannykh pri dobyche stroitel'nykh gornykh porod na Yuge Dal'nevostochnogo regiona // Gornaya promyshlennost'. - 2013. - №4. - S. 26-29.
16. Bochkaryov Y.S. Operating efficiency of BelAZ-7540 dump trucks under conditions of North / Ishkov Alexander M., Makhno Dmitry E. // AER-Advances in Engineering Research. - Vol. 133. - 2017. - pp. 269-274.

#### Библиографическое описание статьи

Бочкарев Ю.С., Бояров М.М. Факторы, лимитирующие безотказность автосамосвалов БЕЛАЗ-7540 на россыпных месторождениях севера // Горное оборудование и электромеханика – 2020. – № 1 (147). – С. 16-22.

#### Reference to article

Bochkaryov Yu.S., Boyarov M.M. Factors impacting failure-free operation of BELAZ-7540 dump trucks at the placer deposits of the north. Mining Equipment and Electromechanics, 2020, no.1 (147), pp. 16-22.