

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

ОЦЕНКА БЕЗОТКАЗНОСТИ АВТОСАМОСВАЛОВ БЕЛАЗ-7540 ПРИ ОСВОЕНИИ ЗАПАСОВ РОССЫПНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ СЕВЕРА

***Аннотация:** Разработка россыпных месторождений Арктической зоны России происходит с использованием карьерных автосамосвалов БелАЗ-7540. Как показывает практика, эксплуатация горной техники в условиях Арктики имеет свою специфику. Негативными факторами являются низкие климатические температуры, мерзлое состояние горных пород, отсутствие круглогодичных дорожных сообщений, что осложняется большой отдаленностью участков ведения горных работ от промышленных центров. Безотказность карьерных автосамосвалов БелАЗ-7540 на россыпных месторождениях Арктической зоны России в научно-технической литературе практически не рассмотрена. Особенностью разработки россыпных месторождений Арктики является сезонная организация горных работ, которая оказывает влияние на загруженность техники в течение года. Поэтому целью данной работы является исследование безотказности карьерных автосамосвалов БелАЗ-7540 на россыпных месторождениях Арктической зоны России. При исследовании безотказности карьерных автосамосвалов БелАЗ-7540 использованы статистический и аналитический методы анализа. В результате исследования установлено, что их безотказность интенсивно снижается и увеличение объема горнотранспортных работ и их пробега приводит к увеличению частоты отказов. Безотказность лимитируют частые отказы ведущего моста, подвески, передней оси, колес и шин, рулевого управления, тормозных систем. Число отказов данных систем увеличивается в период промывочного сезона.*

***Ключевые слова:** Безотказность, системы автосамосвала, россыпные месторождения, параметр потока отказов, зависимость, число отказов, сезонность.*

***Информация о статье:** принята 06 февраля 2020 г.
DOI: 10.26730/1816-4528-2020-1-10-15*

Обзор научно-технической литературы [1-9], посвященной исследованию транспортных систем на горнодобывающих предприятиях, показывает, что грузоперевозки обеспечиваются преимущественно пневмоколесным транспортом, где удельный вес карьерного автотранспорта приблизился к 75%. Определенно можно констатировать факт того, что колесный автотранспорт останется доминирующим видом транспорта на горных разработках еще в течение 20-30 лет вследствие отсутствия альтернативы с такими же функциональными возможностями.

Практика показывает, что при освоении минеральных запасов россыпных месторождений Севера используются карьерные автосамосвалы грузоподъемностью 30-40 тонн – БелАЗ-7540, Komatsu HD 405-6, Caterpillar 770 и Perlini DP 405. Данные модели автосамосвалов используются как в качестве основного подвижного состава на россыпных месторождениях, так и как вспомогательные на крупных карьерах [1, 3].

Принимая во внимание, что на предприятиях Северо-Востока России парк транспортных машин представлен автосамосвалами модели БелАЗ-7540, а также учитывая результаты обзора предыдущих исследований [6-14], необходимо

обратить внимание на то, что аспектам эксплуатации и изучению надежности данного карьерного автосамосвала исследователями не уделено достаточного внимания, не говоря об особенностях эксплуатации на россыпных месторождениях. Таким образом, установлено, что существует научно-практическая задача, требующая решения.

Разработка россыпных месторождений в районах Арктической зоны России сопряжена с довольно большим количеством факторов, осложняющих горные работы и эксплуатацию машин: отдаленность самих месторождений от населенных пунктов, отсутствие постоянных круглогодичных дорожных путей сообщения, суровые климатические условия, отсутствие крупных ремонтных баз, а также мерзлое состояние горной породы в холодное время года и талое в теплое время года. Использование транспортных машин на россыпных месторождениях Арктики имеет свои особенности. Характерными режимами использования машин на россыпных месторождениях Севера являются интенсивное использование в добычной сезон, а в зимнее время года машины используются в менее нагруженном режиме.

Таблица 1. Число отказов карьерных автосамосвалов БелАЗ-7540

Table 1. The number of failures of dump trucks BelAZ-7540

Система \ месяц	январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь	холодный	умеренный
силовая установка	51	53	63	59	63	44	42	62	57	68	60	26	253	268
трансмиссия	11	16	27	36	21	30	29	19	15	24	23	16	93	114
ведущий мост	18	17	22	34	31	60	51	53	38	33	19	20	96	233
подвеска	49	44	55	64	92	84	68	49	46	58	52	42	242	339
передняя ось	4	6	5	4	9	18	9	18	11	7	13	9	37	65
колеса и шины	33	19	28	37	37	46	29	45	45	23	20	20	120	202
рулевое управление	2	3	2	4	10	11	18	6	8	6	6	2	15	53
тормозные системы	20	22	25	26	31	31	48	44	35	18	26	19	112	189
электрооборудование	20	18	29	24	19	23	17	45	34	36	39	22	128	138
кабина, оперение, платформа	15	12	12	11	11	13	14	12	13	17	13	10	62	63
опрокидывающий механизм	3	3	4	5	2	4	7	4	2	2	4	3	17	19
Всего	228	207	268	304	326	378	336	357	297	292	271	189	1163	1694

Для анализа безотказности карьерных автосамосвалов БелАЗ-7540 была собрана, обобщена и систематизирована информация об отказах десяти автосамосвалов за три года при работе на прииске «Маят», взятая с бортовых журналов. Текстовые записи были переведены в числовые, которые впоследствии были распределены по месяцам и системам (таблица 1). В данной работе выделено два периода использования машин – «умеренный» и «холодный». К «умеренному» периоду отнесены месяцы со среднесуточной температурой окружающего воздуха выше -10°C – с мая по сентябрь. К «холодному» периоду отнесены месяцы со среднесуточной температурой окружающего воздуха ниже -10°C – с ноября по март. Апрель и октябрь являются переходными.

Из таблицы видно, что в «умеренный» период времени года число отказов карьерных автосамосвалов БелАЗ-7540 увеличивается почти в 2 раза. Более 50% числа отказов связано с неисправностями подвески, силовой установки, ведущего моста.

Степень и характер влияния условий эксплуатации на безотказность карьерных автосамосвалов БелАЗ-7540 показывает график из расчетных значений параметра потока отказов (рис. 1). Параметр потока отказов (ω) по ГОСТу 27.002-89 [15] определяется как отношение математического ожидания числа отказов восстанавливаемого объекта за достаточно малую его наработку к значению этой наработки и определяется по формуле:

$$\omega(t) = \frac{\Delta N}{N \times \Delta t}$$

где ΔN – число отказавших машин, N – общее число машин, Δt – отрезок времени, в течение которого произошли отказы.

Характер изменения кривой аппроксимации с коэффициентом корреляции $R=0,87$ показывает, что условия эксплуатации оказывают влияние на безотказность карьерных автосамосвалов БелАЗ-7540. В «умеренное» время года частота отказов больше почти в 2 раза по сравнению с «холодным» временем года (рис. 1).

Из графика, приведенного на рис. 1, видно, что параметр потока отказов начинает резко возрастать в начале добычного сезона, а потом убывает по мере гашения объемов горных работ, что является характерной картиной организации горных работ на россыпных месторождениях.

Характер изменения кривой аппроксимации параметра потока отказов к объему перевезенной горной массы с коэффициентом корреляции $R=0,61$ показывает, что увеличение объема горнотранспортных работ более чем на 20% приводит к увеличению частоты отказов почти в 2 раза. Полученные данные свидетельствуют о влиянии интенсивности горных работ на безотказность карьерных автосамосвалов БелАЗ-7540 (рис. 2).

Увеличение суммарного пробега карьерных автосамосвалов БелАЗ-7540 более чем в 2 раза приводит к увеличению частоты отказов в 2-3 раза. Кривая аппроксимации параметра потока отказов к пробегу карьерных автосамосвалов БелАЗ-7540 с коэффициентом корреляции $R=0,70$ показывает наличие прямой связи между ними (рис. 3).

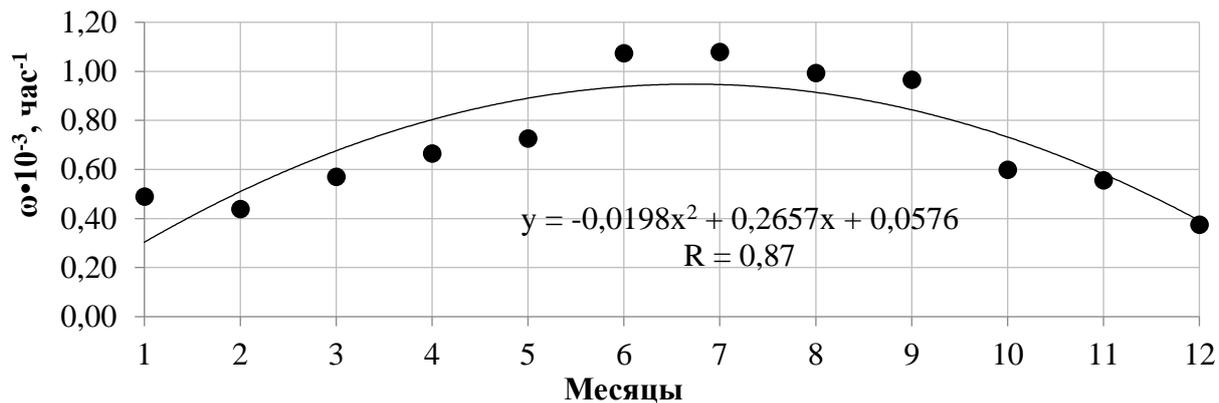


Рис. 1. Зависимость параметра потока отказов карьерных автосамосвалов БелАЗ-7540 от месяца использования

Fig. 1. The relationship between the failure intensity of dump trucks BelAZ-7540 and the month of the year

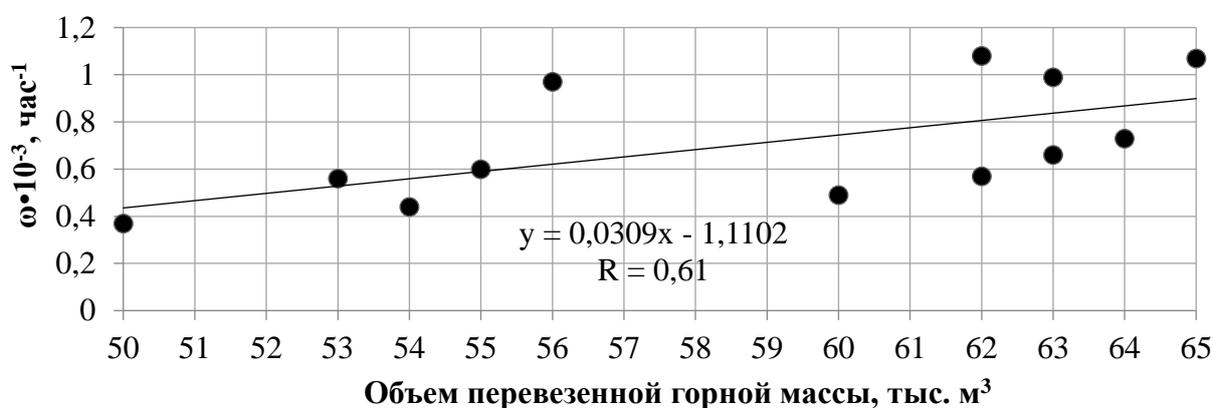


Рис. 2. Зависимость между объемом перевозимой горной массы и параметром потока отказов карьерных автосамосвалов БелАЗ-7540

Fig. 2. The relationship between the failure intensity of dump trucks BelAZ-7540 and volume of transport operations

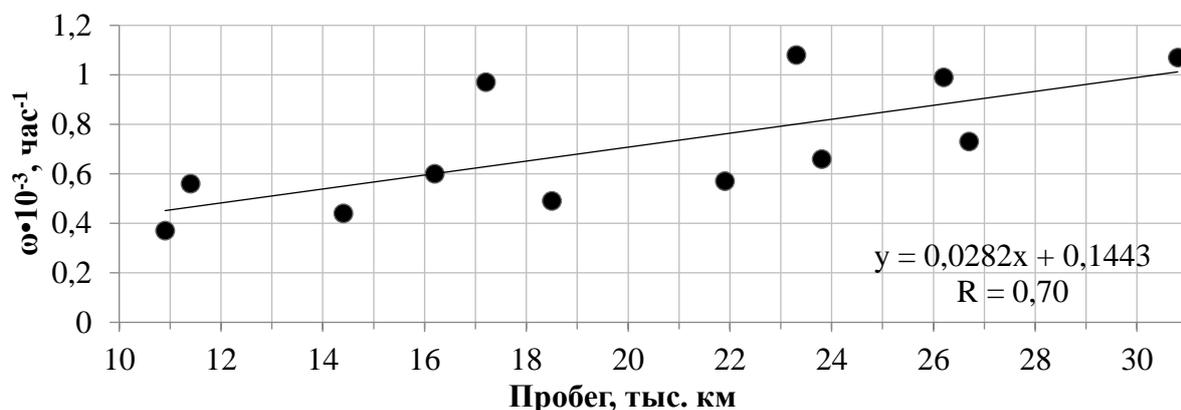


Рис. 3. Зависимость между пробегом карьерных автосамосвалов БелАЗ-7540 и параметром потока отказов

Fig. 3. The relationship between the failure intensity of dump trucks BelAZ-7540 and mileage

Снижение безотказности карьерных автосамосвалов БелАЗ-7540 также связано с абразивным износом деталей систем, относящихся к ходовой части. К ходовой части относятся ведущий мост, подвеска, передняя ось, колеса и шины, рулевое управление, тормозные системы. Сопоставление числа отказов данных систем представлено на гистограмме (рис. 4). Видно, что число отказов перечисленных систем в «умеренное» время года увеличивается почти в 2 раза.

Динамику изменения безотказности карьерных автосамосвалов БелАЗ-7540 на протяжении длительного времени можно установить по расчетным значениям параметра потока отказов, для чего из имеющейся информации было получено число отказов и продолжительность нахождения их в работе за 5 лет. Эмпирическая зависимость между параметром потока отказов и сроком эксплуатации представлена на рис. 5.

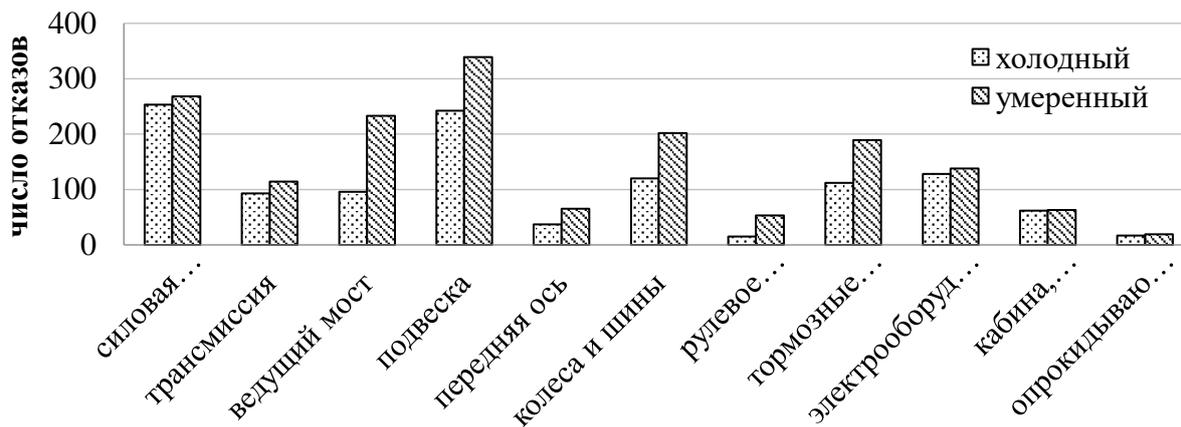


Рис. 4. Сопоставление числа отказов карьерных автосамосвалов БелАЗ-7540 за «умеренное» и «холодное» время года

Fig. 4. Comparison of the number of failures for the "mild" conditions with "cold" conditions

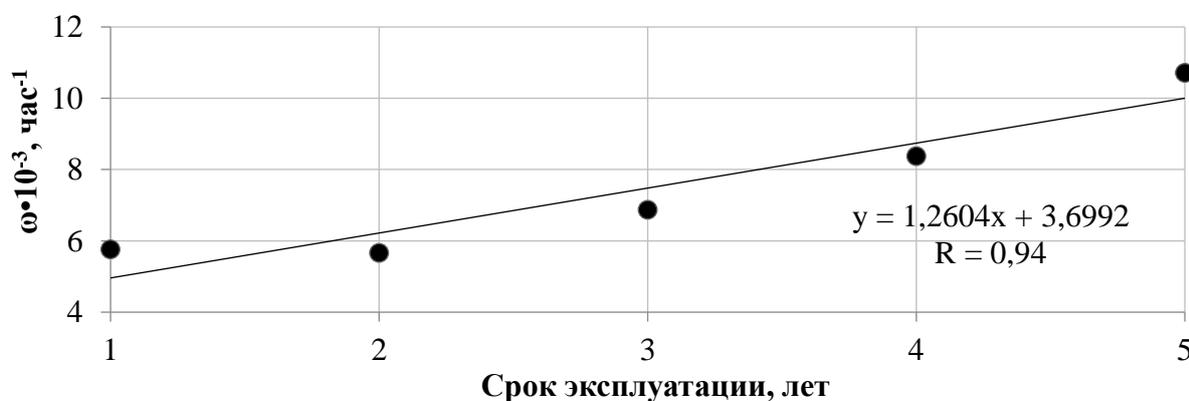


Рис. 5. Зависимость между сроком эксплуатации и параметром потока отказов карьерных автосамосвалов БелАЗ-7540

Fig. 5. Relationship between availability and exploitation period

Кривая аппроксимации параметра потока отказов к сроку эксплуатации карьерных автосамосвалов БелАЗ-7540 с коэффициентом корреляции 0,94 свидетельствует о значительном ухудшении технического состояния карьерных автосамосвалов БелАЗ-7540. Снижение их безотказности происходит из-за низкого качества технического обслуживания и ремонта или несвоевременного их проведения при интенсивном использовании. Конституируем, что при таком интенсивном дальнейшем снижении безотказности карьерные автосамосвалы не смогут выполнить планируемые объемы горнотранспортных работ.

Таким образом, результаты исследования показывают, что безотказность карьерных автосамосвалов БелАЗ-7540 на россыпных месторождениях Арктической зоны России зависит от сезонной организации горнотранспортных работ. Увеличение объема горнотранспортных работ более чем на 20% приводит к увеличению частоты отказов почти в 1,5 раза. Их безотказность лимитируют частые отказы ведущего моста, подвески, передней оси, колес и шин, рулевого управления, тормозных систем. Число отказов данных систем в период промычного сезона увеличивается

почти в 2 раза. Снижение их безотказности происходит из-за низкого качества технического обслуживания и ремонта или несвоевременного их проведения при интенсивном использовании. Из-за интенсивного снижения безотказности карьерные автосамосвалы БелАЗ-7540 не смогут выполнить планируемые объемы горнотранспортных работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чебан А.Ю. Структурный анализ технических средств, задействованных при добыче строительных горных пород на юге Дальневосточного региона / А.Ю. Чебан, Г.В. Секисов, Н.П. Хрунина // Горная промышленность. - 2013. - №4. - С. 26-29.
2. Карьерный автотранспорт стран СНГ в XXI веке / П.Л. Мариев, А.А. Кулешов, А.Н. Егоров, И.В. Зырянов - СПб.: Наука, 2006. - 387 с.
3. Кузнецов С.Р. Обоснование рациональной скорости движения карьерных автосамосвалов в режиме топливной экономичности на основе оптимизации тягово-скоростных характеристик двигателя: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.06. - СПб, 2014. - 133 с.

4. Потапов М.Г. Направления развития карьерного транспорта // Горная промышленность. - 2002. - №6. Режим доступа: <https://mining-media.ru/ru/article/transport/1644-napravleniya-razvitiya-karernogo-transporta> [12.01.2014].
5. Бахтурин Ю.А. Современные тенденции развития карьерного транспорта // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2009. - №7. - С. 403-414.
6. 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
7. 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.
8. 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.
9. 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
10. Корецкий В.Б. Актуальные задачи эксплуатации горнотранспортных машин в жестких климатических условиях // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2009. - Т.10. - №12. - С. 262-277.
11. Паранукян, В.Э. Исследование температурного режима эксплуатации большегрузных автосамосвалов БелАЗ-7540 на технологических перевозках высокотемпературных сталеплавильных шлаков / В.Э. Паранукян, М.В. Помазков, В.В. Ступак, Ю.В. Артамонова // Защита металлургических машин от поломок. - 2006. - №9. - С. 110-117.
12. Помазков М.В. Оценка трудозатрат и простоя на внеплановых ремонтах автосамосвалов БелАЗ-7540, используемых на технологических перевозках. // Вестник Приазовского государственного технического университета. - 2007. - №17. - С. 212-214.
13. Паранукян В.Э. Оценка влияния основных технико-эксплуатационных показателей на срок службы большегрузных автосамосвалов БелАЗ-7540 / В.Э. Паранукян, Ю.В. Артамонова // Вестник Приазовского государственного технического университета. - 2007. - №17. - С. 189-192.
14. Андреева Л.И., Ушаков Ю.Ю. Исследование эксплуатационной надежности карьерных автосамосвалов // Известия Уральского государственного горного университета. - 2016. - № 3. - С. 74-77.
15. ГОСТ 27.002-89 «Надежность в технике. Термины и определения». - М.: Издательство стандартов, 1990. - 37 с.

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

THE RELIABILITY ASSESSMENT OF BELAZ-7540 DUMP TRUCK AT THE PLACER DEPOSITS

Abstract: Mining placer deposits in the Arctic region of Russia is carried out using BelAZ-7540 mining dump trucks. As practice shows, the operation of mining equipment in the Arctic region has its own specifics. Mining of placer deposits has negative factors such as low climatic temperatures, frozen rocks, lack of year-round road communications, it is all complicated by the great remoteness of mining sites from industrial centers. The reliability of BelAZ-7540 mining dump trucks at placer deposits in the Arctic region of Russia has not been actually studied in the scientific and technical literature. A feature of the development of placer deposits in the Arctic is the seasonal character of mining operations, which affects the load of equipment during the year. Therefore, the purpose of this research is to explore the reliability of BelAZ-7540 dump trucks at placer deposits in the Arctic region of Russia. Statistical and analytical methods of analysis were used to explore the reliability of BelAZ-7540 dump trucks. As a result of the study, it was found that their reliability was rapidly decreasing, and an increase in the volume of mining operations and their mileage lead to an increase in the frequency of failures. Reliability is limited by extensive failures of the drive axle, suspension, front axle, wheels and tires, steering, and brake systems. The number of failures of these systems increases during the flushing season.

Keywords: reliability, units of dump trucks, placer deposits, failure intensity, relationship, number of failures, seasonal character.

REFERENCES

1. Cheban A.Yu. Strukturnyj analiz tekhnicheskikh sredstv, zadejstvovannykh pri dobyche stroitel'nykh gornyx porod na yuge Dal'nevostochnogo regiona / A.Yu. Cheban, G.V. Sekisov, N.P. Khrunina // *Gornaya promyshlennost'*. - 2013. - №4. - S. 26-29.
2. Kar'ernyj avtotransport stran SNG v XXI veke / P.L. Mariev, A.A. Kuleshov, A.N. Egorov, I.V. Zyryanov - SPb.: Nauka, 2006. - 387 s.
3. Kuznetsov S.R. Obosnovanie ratsional'noj skorosti dvizheniya kar'ernykh avtosamosvalov v rezhime toplivnoj ehkonomichnosti na osnove optimizatsii tyagovo-skorostnykh kharakteristik dvigatelya: dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.05.06. - SPb, 2014. - 133 s.
4. Potapov M.G. Napravleniya razvitiya kar'ernogo transporta // *Gornaya promyshlennost'*. - 2002. - №6. Rezhim dostupa: <https://mining-media.ru/ru/article/transport/1644-napravleniya-razvitiya-karernogo-transporta> [12.01.2014].
5. Bakhturin Yu.A. Sovremennye tendentsii razvitiya kar'ernogo transporta // *Gornyj informatsionno-analiticheskij byulleten'*. - 2009. - №7. - S. 403-414.
6. 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
7. 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.
8. 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.
9. 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
10. Koretskij V.B. Aktual'nye zadachi ehkspluatatsii gorno-transportnykh mashin v zhestkikh klimaticheskikh usloviyakh // *Gornyj informatsionno-analiticheskij byulleten'*. - 2009. - T.10. - №12. - S. 262-277.
11. Paranyakyan, V.Eh. Issledovanie temperaturnogo rezhima ehkspluatatsii bol'shegruznykh avtosamosvalov BelAZ-7540 na tekhnologicheskikh perevozkakh vysokotemperaturnykh staleplavil'nykh shlakov / V.Eh. Paranyakyan, M.V. Pomazkov, V.V. Stupak, Yu.V. Artamonova // *Zashhita metallurgicheskikh mashin ot polomok*. - 2006. - №9. - S. 110-117.
12. Pomazkov M.V. Otsenka trudozatrata i prostoya na vneplanovykh remontakh avtosamosvalov BelAZ-7540, ispol'zuemykh na tekhnologicheskikh perevozkakh. // *Vestnik Priazovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. - 2007. - №17. - S. 212-214.
13. Paranyakyan V.Eh. Otsenka vliyaniya osnovnykh tekhniko-ehkspluatatsionnykh pokazatelej na srok sluzhby bol'shegruznykh avtosamosvalov BelAZ-7540 / V.Eh. Paranyakyan, YU.V. Artamonova // *Vestnik Priazovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. - 2007. - №17. - S. 189-192.
14. Andreeva L.I., Ushakov Yu.Yu. Issledovanie ehkspluatatsionnoj nadezhnosti kar'ernykh avtosamosvalov // *Izvestiya Ural'skogo gosudarstvennogo gornogo universiteta*. - 2016. - № 3. - S. 74-77.
15. GOST 27.002-89 «Nadezhnost' v tekhnike. Terminy i opredeleniya». - M.: Izdatel'stvo standartov, 1990. - 37 s.

Библиографическое описание статьи

Бочкарев Ю.С., Бояров М.М. Оценка безотказности автосамосвалов БЕЛАЗ-7540 при освоении запасов россыпных месторождений севера // *Горное оборудование и электромеханика* – 2020. – № 1 (147). – С. 10-15.

Reference to article

Bochkaryov Yu.S., Boyarov M.M. The reliability assessment of BELAZ-7540 dump truck at the placer deposits. *Mining Equipment and Electromechanics*, 2020, no.1 (147), pp. 10-15.