

ВОЗМОЖНОСТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СИСТЕМ УЧЕТА ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАСЧЕТОВ БЕЗОТКАЗНОСТИ ОБОРУДОВАНИЯ (НА ПРИМЕРЕ АВТОСАМОСВАЛОВ РАЗРЕЗА «ЧЕРНОГОРСКИЙ»)

В.С. Байкин¹, valentin_baikin@mail.ru
В.Ю. Натейкин², NateykinVY@suek.ru
С.П. Маслюков³, maslyukovserhey@gmail.com

¹ ООО «НИИОГР», Челябинск, Россия

² ООО «СУЭК-Хакасия», Черногорск, Россия

³ Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия

Аннотация. В настоящее время использование стандартных технико-экономических показателей горнодобывающего предприятия для учета процессов эксплуатации и ремонта большегрузных карьерных автосамосвалов БелАЗ не обеспечивает полного понимания причин выхода из строя этих машин и всего горного оборудования. Это затрудняет определение первоначальных причин отказов и условий их появления, что, в свою очередь, мешает разработке более эффективных стратегий технического обслуживания и ремонта автосамосвалов БелАЗ. Для решения этой проблемы необходимо использовать формулы расчета показателей безотказности, такие как формула Стеджерса и математическое ожидание наработки до отказа. Эти методы позволяют более точно определить вероятность возникновения отказов и выявить наиболее возможные причины их появления. Таким образом, они способствуют более эффективному управлению рисками отказа оборудования и повышению надежности системы использования большегрузных карьерных автосамосвалов БелАЗ и их ремонта. Однако использование формул расчета показателей безотказности требует более высокой квалификации работников горнодобывающего предприятия, дополнительных знаний и навыков в области машиноведения, математики и статистики. В целом использование технико-экономических показателей в сочетании с формулами расчета показателей безотказности является важным инструментом для повышения эффективности и надежности системы использования автосамосвалов БелАЗ и их ремонта на горнодобывающем предприятии. Однако для достижения максимальной эффективности эксплуатации оборудования необходимо учитывать все возможные факторы, влияющие на процесс эксплуатации и ремонта большегрузных карьерных автосамосвалов БелАЗ, а также постоянно улучшать методы и инструменты управления рисками.

Ключевые слова: карьерный автосамосвал, горно-транспортное оборудование, основной агрегат, внезапный отказ, ДВС, безотказность

Для цитирования: Байкин В.С., Натейкин В.Ю., Маслюков С.П. Возможности совершенствования систем учета технико-экономических показателей горнодобывающих предприятий с использованием расчетов безотказности оборудования (на примере автосамосвалов разреза «Черногорский») // Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение». 2023. Т. 23, № 3. С. 17–26. DOI: 10.14529/engin230302

POSSIBILITIES FOR IMPROVING THE SYSTEMS FOR ACCOUNTING THE TECHNICAL AND ECONOMIC INDICATORS OF MINING ENTERPRISES USING EQUIPMENT RELIABILITY CALCULATIONS (ON THE EXAMPLE OF DUMP TRUCKS OF THE CHERNOGORSKIY MINE)

V.S. Baikin¹, valentin_baikin@mail.ru
V.Yu. Nateikin², NateykinVY@suek.ru
S.P. Maslyukov³, maslyukovserhey@gmail.com

¹ NII OGR LLC, Chelyabinsk, Russia

² SUEK-Khakassia LLC, Chernogorsk, Russia

³ South Ural State University, Chelyabinsk, Russia

Abstract. At present, the use of standard technical and economic indicators of a mining enterprise to account for the operation and repair of BelAZ heavy-duty mining dump trucks does not provide a complete understanding of the reasons for the failure of these machines and all mining equipment. This makes it difficult to determine the initial causes of failures and the conditions for their occurrence, which in turn hinders the development of more effective maintenance and repair strategies for BelAZ dump trucks. To solve this problem, it is necessary to use formulas for calculating reliability indicators, such as the Stegers formula and the mathematical expectation of time to failure. To solve this problem, it is necessary to use formulas for calculating reliability indicators, such as the Stegers formula and the mathematical expectation of time to failure. These methods allow you to more accurately determine the likelihood of failures and identify the most likely causes of its occurrence. Thus, they contribute to a more effective management of the risks of equipment failure and increase the reliability of the system for the use of BelAZ heavy mining dump trucks and their repair. However, the use of formulas for calculating reliability indicators requires a higher qualification of employees of a mining enterprise, additional knowledge and skills in the field of mechanical engineering, mathematics and statistics. In general, the use of technical and economic indicators in combination with formulas for calculating reliability indicators is an important tool for improving the efficiency and reliability of the system for using BelAZ dump trucks and their repair at a mining enterprise. However, in order to achieve maximum efficiency of equipment operation, it is necessary to take into account all possible factors that affect the process of operation and repair of BelAZ heavy-duty mining dump trucks, as well as constantly improve risk management methods and tools.

Keywords: mining dump truck, mining and transport equipment, main unit, sudden failure, internal combustion engine, reliability

For citation: Baikin V.S., Nateikin V.Yu., Maslyukov S.P. Possibilities for improving the systems for accounting the technical and economic indicators of mining enterprises using equipment reliability calculations (on the example of dump trucks of the Chernogorskiy mine). *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Mechanical Engineering Industry*, 2023:23(3):17–26. (In Russ.) DOI: 10.14529/engin230302

Введение

В ходе проведения работы по обзору структуры внезапных выходов из строя основных агрегатов автосамосвалов БелАЗ на разрезе «Черногорский» ООО «СУЭК-Хакасия» было выявлено увеличение продолжительности ремонтного обслуживания автосамосвалов БелАЗ-75306. Рост длительности одного ремонта основных агрегатов автосамосвалов БелАЗ составил 45 % (рис. 1) [1].

Также в ходе исследования было выявлено, что наблюдается рост количества выходов из строя двигателей внутреннего сгорания автосамосвалов БелАЗ-75306. Повышение продолжительности простоя произошло с 7 часов до 14, что, в свою очередь, привело к увеличению времени, затрачиваемого на ремонт оборудования, и снижению эффективности производственных процессов (рис. 2) [2].

Зачастую карьерные автосамосвалы БелАЗ-75306, эксплуатирующиеся на российских горнодобывающих предприятиях, оснащены дизельным двигателем Cummins QSK-60-C (рис. 3). Данный двигатель является одним из самых мощных и надежных двигателей, используемых в различных отраслях промышленности. Он производится компанией Cummins Inc., которая была основана в 1919 году в США и специализируется на производстве двигателей и другой техники для различных отраслей промышленности.



Рис. 1. Продолжительность ремонта основных агрегатов автосамосвалов БелАЗ на разрезе «Черногорский»
Fig. 1. The duration of the repair of the main units of BelAZ dump trucks at the Chernogorsky open pit



Рис. 2. Продолжительность ремонта ДВС автосамосвалов БелАЗ на разрезе «Черногорский»
Fig. 2. The duration of the repair of internal combustion engines of BelAZ dump trucks at the Chernogorsky open pit

Cummins QSK-60-C – это дизельный двигатель с V-образной конфигурацией цилиндров и системой непосредственного впрыска топлива. Он имеет объем 60 литров и может развивать мощность до 2700 лошадиных сил при 1900 оборотах в минуту. Это позволяет использовать его для самых тяжелых и сложных задач, таких как привод крупных грузовиков, электростанций, морских судов и других объектов.

Одной из главных особенностей двигателя Cummins QSK-60-C является его высокая эффективность. Он оснащен системой электронного управления, которая позволяет оптимизировать работу двигателя и снизить расход топлива. Благодаря этому двигатель позволяет снизить затраты на эксплуатацию и уменьшить негативное воздействие на окружающую среду.

Кроме высокой эффективности, двигатель Cummins QSK-60-C обладает высокой надежностью и долговечностью. Он изготавливается из высококачественных материалов и проходит строгий контроль качества на всех этапах производства. Благодаря этому он может работать в течение многих лет без серьезных поломок и ремонтов.

Еще одной особенностью двигателя Cummins QSK-60-C является его адаптивность к различным условиям работы. Он может работать в широком диапазоне температур, от -40 до $+50$ °C, что позволяет использовать его в различных климатических зонах. Кроме того, он может работать как на дизельном топливе, так и на газе, что позволяет снизить затраты на эксплуатацию.



Рис. 3. Дизельный двигатель Cummins QSK-60-C
Fig. 3. Diesel engine Cummins QSK-60-C

Увеличение среднего времени ремонта двигателя внутреннего сгорания большегрузных карьерных автосамосвалов БелАЗ-75306 на разрезе «Черногорский» произошло несмотря на тот фактор, что работа, производимая этими самосвалами, уменьшилась (табл. 1). Снижение грузооборота автосамосвалов БелАЗ наблюдается при сохранении количества машин в парке.

Таблица 1

Грузооборот парка автосамосвалов БелАЗ на разрезе «Черногорский» с 2018 по 2021 год

Грузооборот, тыс. т·км	2018 год	2019 год	2020 год	2021 год
Всего парка	256 963	274 523	219 382	219 432
1-й машины	7 558	8 074	6 452	6 649

Из табл. 1 видно, что общее снижение грузооборота всего парка связано с уменьшением средней производительности автосамосвалов. Однако при текущем учете показателей и их ана-

лизе невозможно достоверно определить первоначальные причины повышения продолжительности ремонта двигателя внутреннего сгорания автосамосвалов БелАЗ-75306.

Обоснование проблемы

На сегодняшний день на разрезе «Черногорский», как правило, учитываются такие технико-экономические показатели, как: производительность оборудования и труда работников, себестоимость продукции, амортизация, количество и продолжительность организационных и ремонтных простоев. Отдельное или совокупное рассмотрение этих показателей не всегда позволяет выявить тенденции в производственных процессах (рис. 4) [3].

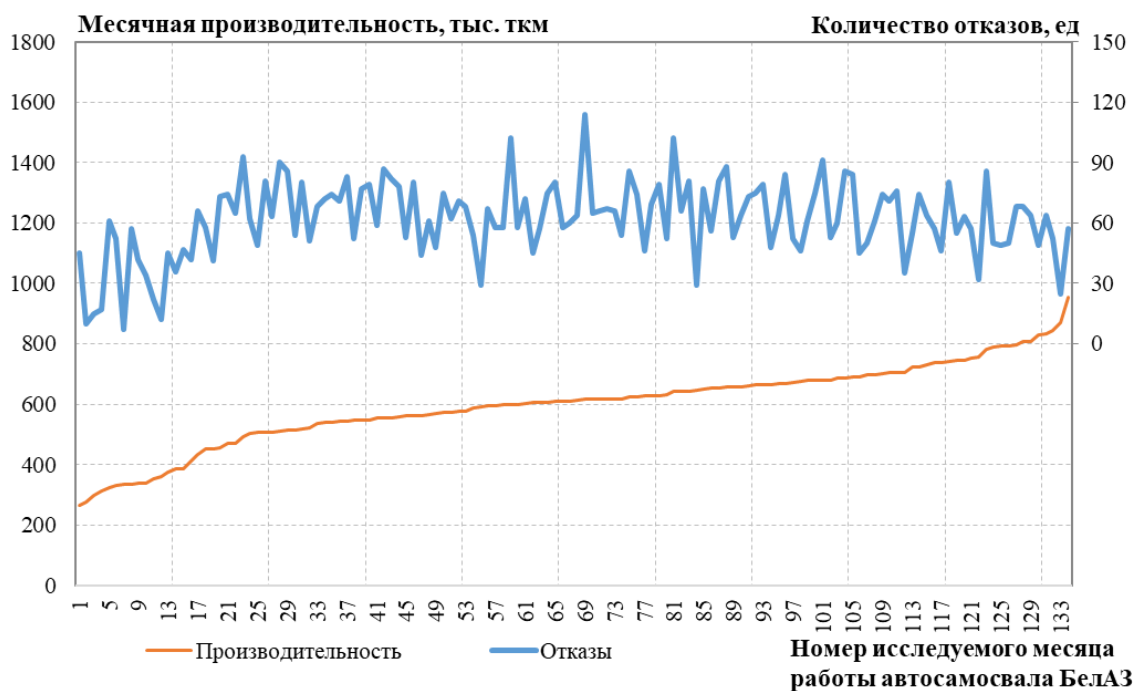


Рис. 4. Месячная производительность и количество отказов автосамосвалов БелАЗ-75306 на разрезе «Черногорский»

Fig. 4. Monthly productivity and number of failures of BelAZ-75306 dump trucks at the Chernogorsky open pit

Анализируя исключительно эти показатели, невозможно наглядно увидеть, что происходит с внезапными отказами автосамосвалов БелАЗ при увеличении или снижении производительности. Для более точного определения необходимых условий эксплуатации автосамосвалов БелАЗ необходимо использовать формулу Стеджера, произвести расчеты математического ожидания наработки до отказа и относительной частоты экспериментальных значений. Это позволит не только определять, какие улучшения необходимо произвести для повышения безотказности автосамосвалов БелАЗ, но и прогнозировать возможную производительность автосамосвалов в текущих условиях предприятия [4–9].

Формула Стеджера:

$$\Delta X = \frac{X_{MAX} - X_{MIN}}{1 + 3,31 \cdot \lg N}$$

где X_{MAX} и X_{MIN} – максимальное и минимальное значения результатов наблюдений.

Математическое ожидание наработки до отказа рассчитывается по формуле:

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^k \bar{x}_i \cdot m_i,$$

где k – количество интервалов ($k = 8$); \bar{x}_i – середина i -го интервала; m_i – относительная частота (частость) экспериментальных значений, попавших в i -й интервал вариационного ряда.

Относительная частота экспериментальных значений рассчитывается по формуле:

$$m_i = \frac{n_i}{N},$$

где n_i – число попаданий экспериментальных значений в i -й интервал.

Результаты расчетов были представлены в виде графиков (рис. 5–7). Как видно на рис. 4, при производительности автосамосвала 800 тысяч тонно-километров в месяц вероятность безотказ-

ной работы близка к нулю, если количество обслуживаний этих самосвалов менее 25 в год. При увеличении количества обслуживаний вероятность увеличивается до 0,5 [10].

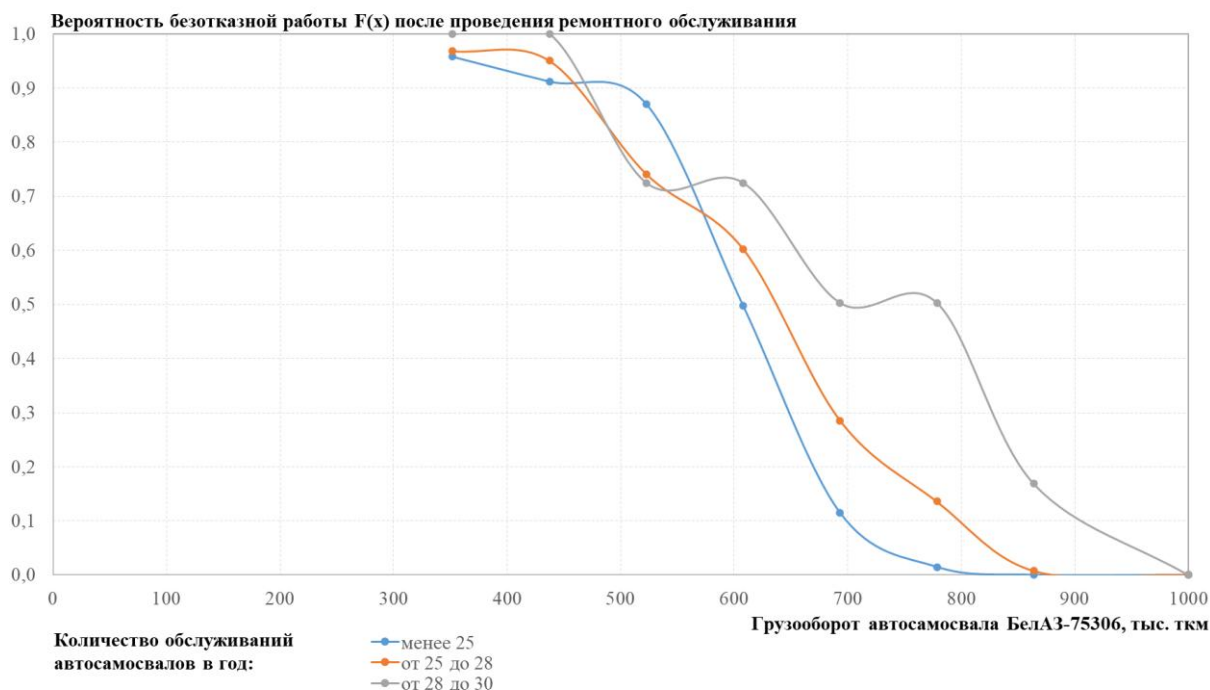


Рис. 5. Вероятность безотказной работы автосамосвалов БелАЗ-75306 в зависимости от количества проведенных ТО и ППР на разрезе «Черногорский»
Fig. 5. Probability of trouble-free operation of BelAZ-75306 dump trucks depending on the number of maintenance and preventive maintenance performed at the Chernogorsky open pit

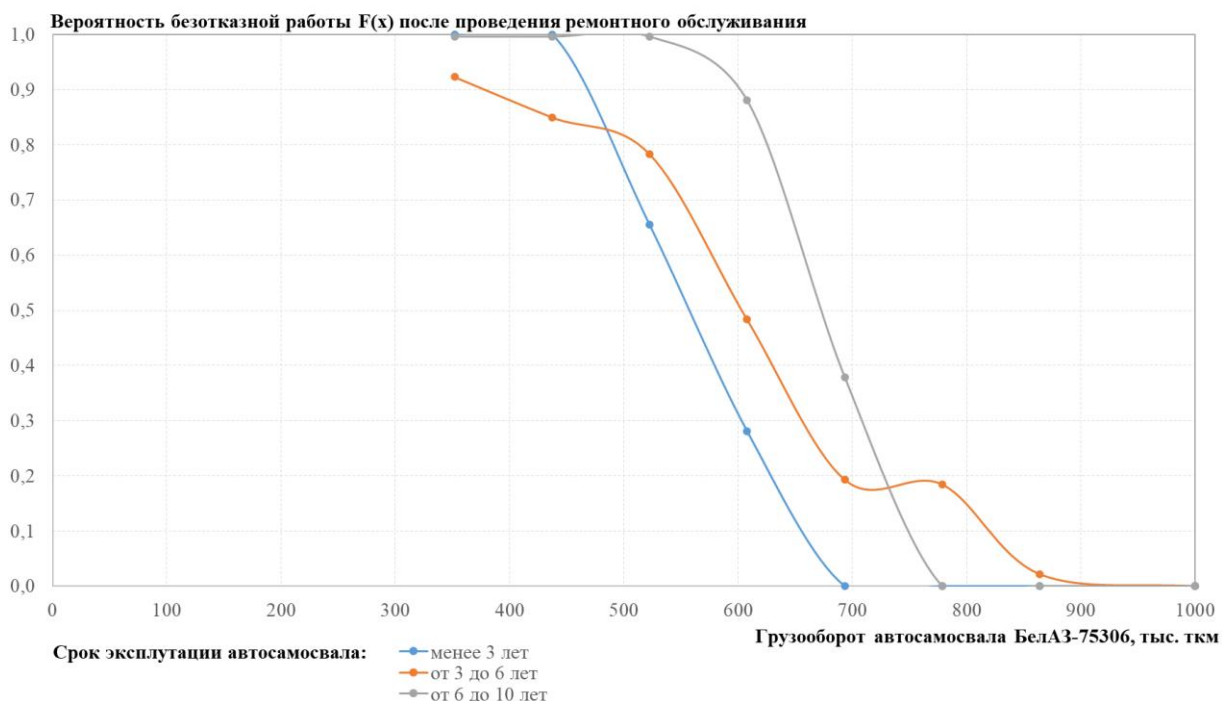


Рис. 6. Вероятность безотказной работы автосамосвалов БелАЗ-75306 в зависимости от срока эксплуатации этих машин на разрезе «Черногорский»
Fig. 6. Probability of trouble-free operation of BelAZ-75306 dump trucks depending on the service life of these machines at the Chernogorsky open pit

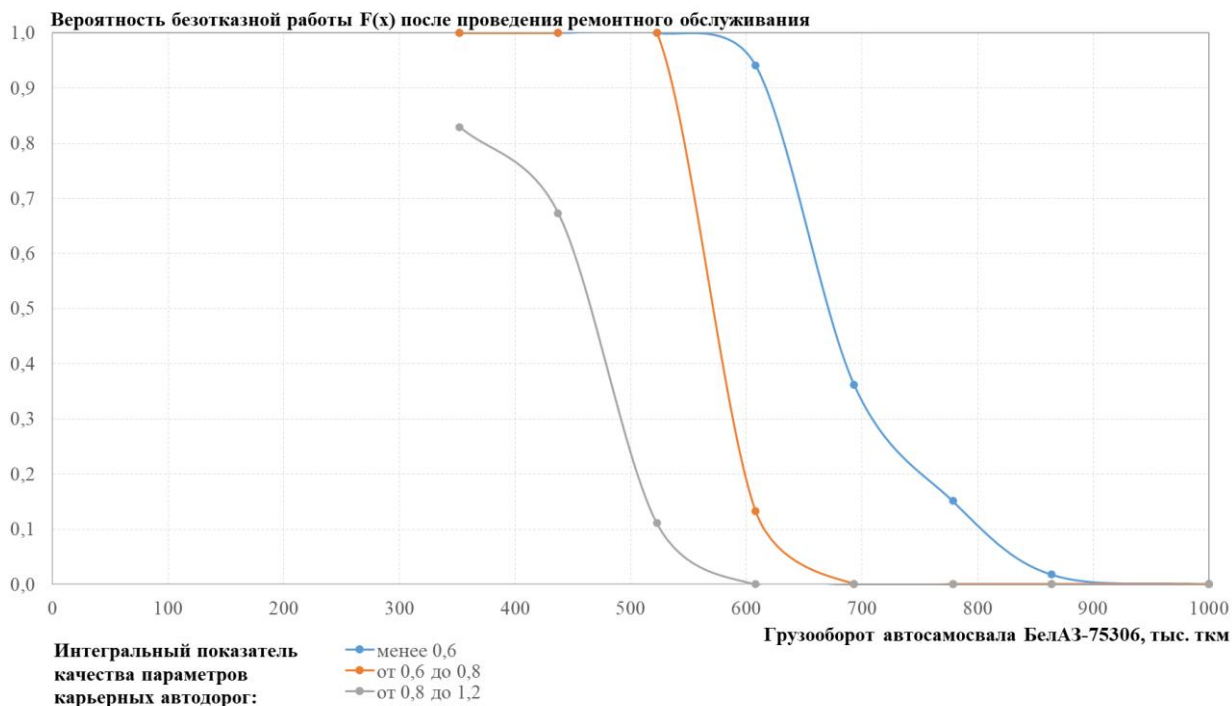


Рис. 7. Вероятность безотказной работы автосамосвалов БелАЗ-75306 в зависимости от качества параметров карьерных дорог на разрезе «Черногорский»
 Fig. 7. Probability of no-failure operation of BelAZ-75306 dump trucks depending on the quality of the parameters of quarry roads at the Chernogorsky open pit

Величина значения интегрального показателя качества параметров карьерных автодорог оценивалась по следующим ключевым показателям: высота предохранительного вала, ширина проезжей части, величина уклона дороги и виражей, уровень освещенности, состояние колеи дороги, наличие наледи, пыли и просыпей, наличие знаков дорожного движения, площадь, покрытая выбоинами и кочками, пробег шин автосамосвалов, удельное количество механических повреждений на 1 млн км, средняя удельная продолжительность ремонта рамы автосамосвала, ч/мес.

По итогам проверки автодорог предприятия суммируется количество замечаний (в баллах) по всем показателям и затем рассчитывается удельное количество баллов на 1 км дороги ($n_{уд}$) по формуле:

$$n_{уд} = \frac{n_{нарушений}}{L_d},$$

где $n_{нарушений}$ – общее количество баллов (оценивается по характеристикам качества проектных параметров автодорог); L_d – длина оцениваемых технологических автодорог предприятия, км.

По каждой из полученных зависимостей видно, что расширение стандартных показателей на горнодобывающих предприятиях, а также их рассмотрение с помощью формул расчета показателей безотказности позволяет более точно определять условия, создание которых необходимо для обеспечения требуемого уровня производительности с приемлемым уровнем безотказности [11–15].

Вывод

Используемые показатели учета не обеспечивают полного понимания процессов в системе эксплуатации автосамосвала и его ремонта. Это затрудняет определение первоначальных причин выхода из строя. Для решения этой проблемы необходимо применять формулы расчета показателей безотказности, такие как формула Стеджерса и математическое ожидание наработки до отказа. Эти методы позволяют более точно определить вероятность возникновения отказов и определить наиболее возможные причины. Использование этих формул также позволяет разработать более эффективные стратегии технического обслуживания и ремонта автосамосвала. Это может значительно снизить затраты на обслуживание и увеличить продолжительность эксплуатации техники. В целом, использование формул расчета показателей безотказности является важным

инструментом для повышения эффективности и надежности системы использования автосамосвала и его ремонта [16–20].

Список литературы

1. Задорожная Е.А., Маслоков С.П. Обзор структуры внезапных выходов из строя узлов трения автосамосвалов «БелАЗ» на разрезе «Черногорский» // Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение». 2022. Т. 22, № 2. С. 64–73. DOI: 10.14529/engin220206.
2. Дадонов М.В., Воронков П.А., Ефремов О.И. Оценка структуры и причин сверхнормативных простоев автосамосвалов БелАЗ-75306, эксплуатируемых в ООО «Разрез Березовский» // Россия молодая: сборник материалов XII Всероссийской, научно-практической конференции молодых ученых с международным участием. Кемерово, 2020. С. 52511.1–52511.5.
3. Сухарьков И.Н., Вакулин Е.А., Ивашкевич В.А., Глухорев В.В., Горбенко А.С., Хажиев В.А. Совершенствование процесса учета отказов и ремонтов автосамосвалов БелАЗ // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2016. № S34. С. 183–192.
4. Дадонов М.В., Журавлев С.А. Анализ условий обслуживания автосамосвалов БелАЗ-7555 и БелАЗ-75131, эксплуатируемых ООО «Разрез Березовский» г. Прокопьевск // Россия молодая: сборник материалов XIII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием / редкол.: К.С. Костиков (отв. ред.) [и др.]. Кемерово, 2021. С. 52314.1–52314.4.
5. Азев В.А., Шаповаленко Г.Н., Андреева Л.И., Хажиев В.А. Концепция развития системы обеспечения работоспособности горнотранспортного оборудования угледобывающего объединения на примере ООО «СУЭК-Хакасия» // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). М.: Горная книга, 2015. Спецвыпуск № 45-2. С. 97–113.
6. Шаповаленко Г.Н., Зубарев С.Ф., Глухорев В.В., Байкин В.С. Повышение эффективности проведения технического обслуживания БелАЗ на разрезе «Черногорский» ООО «СУЭК-Хакасия» // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). М.: Горная книга, 2015. Спецвыпуск № 45-2. С. 122–128.
7. Меджидов М.А., Васильев В.А. Зависимость внеплановых ремонтов от периодичности проведения ТО и ремонта карьерных автосамосвалов // Вестник Московского автомобильно-дорожного института (государственного технического университета). 2007. № 3 (10). С. 22–26.
8. Зырянов И.В., Золотухин Г.К. К вопросу о рациональном критерии проведения капитального ремонта базовых узлов карьерных автосамосвалов // Природные ресурсы и экология Дальневосточного региона: материалы Международного научно-практического форума. 2013. С. 294–297.
9. Квагинидзе В.С., Корецкая Н.А. Эффективность системы технических обслуживаний и ремонтов большегрузных карьерных автосамосвалов, эксплуатирующихся в условиях севера // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2011. № S5. С. 198–217.
10. Ушаков Ю.Ю. Обоснование параметров системы технического обслуживания и ремонта карьерных автосамосвалов: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Ур. гос. гор. ун-т. Екатеринбург, 2017.
11. Tsahelnik A.V., Yarutich Ya.O., Novikova S.V., Basalai R.A., Slesaronak K.V. Increasing the reliability of wheeled running gears of mining dump truck with electromechanical transmission // Topical Issues of Rational Use of Natural Resources. XVII International Forum-Contest of Students and Young Researchers. Scientific conference abstracts. СПб., 2021. С. 137–138.
12. Khoreshok A., Kuznetsov A., Shalkov A. Simulation and field measurements of reliability parameters of dump truck hydraulic system // E3S Web of Conferences. 3rd International Innovative Mining Symposium, IIMS 2018: Electronic edition. 2018.
13. Umirzokov A.M., Mallaboev U.M., Saidullozoda S.S., Khabibullozoda K.K. Classification of factors influencing the reliability of the driver-vehicle-road-environment (dvre) system in the conditions of mountain quarries // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Ser. “All-Russian Scientific-Practical Conference with International Participation “Actual Issues of Transport in the Forest Sector”. 2020. P. 012036.
14. NiniHao, Zhang M., Yu Y., Jin X. Theoretical analysis and experiment of longitudinal curve configuration of heavy mining dump truck carriage // Academic Journal of Manufacturing Engineering. 2020. V. 18, № 3. P. 233–242.

15. Bogomolov A.R., Dubov G.M., Azikhanov S.S. Comparative analysis of the concentration of CO₂, CO, CH₄, and O₂ in the exhaust gases of BelAZ dump trucks that use liquefied natural gas as a motor fuel // *Nexo Revista Científica*. 2022. V. 35, № 2. P. 552–565.
16. Nikishechkin A.P., Dubrovin L.M., Davydenko V.I. Fluxgate sensors for onboard weighing systems of heavy-duty dump trucks // *World of Transport and Transportation*. 2021. V. 19, № 3 (94). P. 167–174.
17. Lagunova Y., Horoshavin S., Bochkov V. Efficiency of using dump trucks BelAZ-75180 // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Ser. "International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment, ICMTMTE 2020 - Machine Science, Mechanization, Automation and Robotics" 2020. P. 052079.
18. Kurganov V.M., Gryaznov M.V., Kolobanov S.V. Assessment of operational reliability of quarry excavator-dump truck complexes // *Journal of Mining Institute*. 2020. V. 241. P. 10–21.
19. Lagunova Y.A., Khoroshavin S.A., Kalyanov A.E. Durability increase of mining dump trucks through the use of protective coatings of the body // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. 2020. P. 32029.
20. Lagunova Y., Horoshavin S., Bochkov V. Analysis of the operational characteristics of the main units of belaz vehicles in a coal mine // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment 2019, ICMTME 2019. 2020. P. 022048.

References

1. Zadorozhnaya E.A., Maslyukov S.P. Review of the structure of unscheduled faults of friction assembly of BELAZ dump trucks at the Chernogorsky mill. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Mechanical Engineering Industry*. 2022. Vol. 22, no. 2. P. 64–73. (In Russ.) DOI: 10.14529/engin220206
2. Dadonov M.V., Voronkov P.A., Efremov O.I. [Assessment of the structure and causes of excess downtime of BelAZ-75306 dump trucks operated by Razrez Berezovsky]. *Young Russia. Collection of materials of the XII All-Russian scientific and practical conference of young scientists with international participation*. Kemerovo, 2020. P. 52511.1-52511.5. (In Russ.)
3. Sukharkov I.N., Vakulin E.A., Ivashkevich V.A., Glukhorev V.V., Gorbenko A.S., Khazhiev V.A. [Improving the process of accounting for failures and repairs of BelAZ dump trucks] *Mining information and analytical bulletin (scientific and technical journal)*. 2016. No. S34. P. 183–192. (In Russ.)
4. Dadonov M.V., Zhuravlev S.A. [Analysis of the service conditions for BelAZ-7555 and BelAZ-75131 dump trucks operated by Razrez Berezovsky LLC, Prokopyevsk]. *Young Russia. Collection of materials of the XIII All-Russian scientific-practical conference with international participation*. Kemerovo, 2021, pp. 52314.1–52314.4. (In Russ.)
5. Azev V.A., Shapovalenko G.N., Andreeva L.I., Khazhiev V.A. [The concept of developing a system for ensuring the operability of mining and transport equipment of a coal-mining association on the example of LLC SUEK-Khakassia]. *Mining information and analytical bulletin (scientific and technical journal)*. , 2015. Special issue No. 45-2. P. 97–113. (In Russ.)
6. Shapovalenko G.N., Zubarev S.F., Glukhorev V.V., Baikov V.S. [Improving the efficiency of BelAZ maintenance at the Chernogorsky open pit of SUEK-Khakassia LLC]. *Mining Information and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*. 2015. Special issue No. 45-2. P. 122–128. (In Russ.)
7. Medzhidov M.A., Vasiliev V.A. [Dependence of unscheduled repairs on the frequency of maintenance and repair of mining dump trucks]. *Bulletin of the Moscow Automobile and Road Institute (State Technical University)*. 2007. No. 3 (10). P. 22–26. (In Russ.)
8. Zyryanov I.V., Zolotukhin G.K. [To the question of the rational criteria for the overhaul of the basic units of mining dump trucks] *Natural resources and ecology of the Far East region. Materials of the International Scientific and Practical Forum*. 2013. P. 294–297. (In Russ.)
9. Kvaginizde V.S., Koretskaya N.A. [Efficiency of the system of technical maintenance and repairs of heavy-duty dump trucks operating in the north] *Mining Information and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*. 2011. No. S5. P. 198–217. (In Russ.)
10. Ushakov Yu.Yu. [Substantiation of the parameters of the system of maintenance and repair of dump trucks. Abstract of the thesis. candidate of technical sciences] Ur. state mountains un-t. Yekaterinburg, 2017.

11. Tsahelnik A.V., Yarutich Ya.O., Novikova S.V., Basalai R.A., Slesaronak K.V. Increasing the reliability of wheeled running gears of mining dump truck with electromechanical transmission. *Topical Issues of Rational Use of Natural Resources. XVII International Forum-Contest of Students and Young Researchers. Scientific conference abstracts*. Saint Petersburg, 2021. pp. 137–138.

12. Khoreshok A., Kuznetsov A., Shalkov A. Simulation and field measurements of reliability parameters of dump truck hydraulic system. *E3S Web of Conferences. 3rd International Innovative Mining Symposium, IIMS 2018: Electronic edition*. 2018.

13. Umirzokov A.M., Mallaboev U.M., Saidullozoda S.S., Khabibullozoda K.K. Classification of factors influencing the reliability of the driver-vehicle-road-environment (dvre) system in the conditions of mountain quarries. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Ser. "All-Russian Scientific-Practical Conference with International Participation "Actual Issues of Transport in the Forest Sector"*. 2020. P. 012036.

14. NiniHao, Zhang M., Yu Y., Jin X. Theoretical analysis and experiment of longitudinal curve configuration of heavy mining dump truck carriage. *Academic Journal of Manufacturing Engineering*. 2020. Vol. 18. No. 3. P. 233–242.

15. Bogomolov A.R., Dubov G.M., Azikhanov S.S. Comparative analysis of the concentration of CO₂, CO, CH₄, and O₂ in the exhaust gases of BelAZ dump trucks that use liquefied natural gas as a motor fuel. *Nexo Revista Científica*. 2022. Vol. 35. No. 2. P. 552–565.

16. Nikishechkin A.P., Dubrovin L.M., Davydenko V.I. Fluxgate sensors for onboard weighing systems of heavy-duty dump trucks. *World of Transport and Transportation*. 2021. Vol. 19. No. 3 (94). P. 167–174.

17. Lagunova Y., Horoshavin S., Bochkov V. Efficiency of using dump trucks BelAZ-75180. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Ser. "International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment, ICMTME 2020 – Machine Science, Mechanization, Automation and Robotics"*. 2020. P. 052079.

18. Kurganov V.M., Gryaznov M.V., Kolobanov S.V. Assessment of operational reliability of quarry excavator-dump truck complexes. *Journal of Mining Institute*. 2020. Vol. 241. P. 10–21.

19. Lagunova Y.A., Khoroshavin S.A., Kalyanov A.E. Durability increase of mining dump trucks through the use of protective coatings of the body. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations*. 2020. P. 32029.

20. Lagunova Y., Horoshavin S., Bochkov V. Analysis of the operational characteristics of the main units of BelAZ vehicles in a coal mine. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment 2019, ICMTME 2019*. 2020. P. 022048.

Информация об авторах

Байкин Валентин Станиславович, кандидат технических наук, научный сотрудник, ООО «НИИОГР», Челябинск, Россия, valentin_baikin@mail.ru

Натейкин Вячеслав Юрьевич, директор по производственным операциям, ООО «СУЭК-Хакасия», Черногорск, Россия, NateykinVY@suek.ru

Маслюков Сергей Павлович, соискатель степени кандидата технических наук, кафедра «Автомобильный транспорт», Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия, maslyukovserhey@gmail.com

Information about the authors

Valentin S. Baykin, Candidate of Technical Sciences, Researcher, NIIOGR LLC, Chelyabinsk, Russia, valentin_baikin@mail.ru

Vyacheslav Yu. Nateykiin, Director of Production Operations, SUEK-Khakassia LLC, Chernogorsk, Russia, NateykinVY@suek.ru

Sergey P. Maslyukov, applicant for the degree of candidate of technical sciences of Motor Transport Department, South Ural State University, Russia, maslyukovserhey@gmail.com

Статья поступила в редакцию 29.05.2023; принята к публикации 30.05.2023.

The article was submitted 29.05.2023; accepted for publication 30.05.2023.