

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ КАРЬЕРНЫХ АВТОСАМОСВАЛОВ ПРИ РАЗРАБОТКЕ РОССЫПНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ СЕВЕРА

Ю. С. Бочкарев¹, И. В. Зырянов²

¹ Северо-Восточный федеральный университет имени М. К. Аммосова, Якутск, Россия;

² Политехнический институт (филиал) ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет имени М. К. Аммосова» (МПТИ (ф) СВФУ), Мирный, Россия

Аннотация: Изложены результаты анализа статистики отказов карьерных автосамосвалов БелАЗ-7540 при разработке россыпных месторождений Севера на примере прииска «Маят» Анабарского района Якутии. Приведена характеристика условий эксплуатации. В отличие от коренных разработок россыпных месторождений Севера производится сезонно. В холодное время года выполняются вскрышные работы с применением буровзрывной технологии. В теплое время года осуществляется вскрышка торфов и окучивание талых песков бульдозерами для погрузки в карьерные автосамосвалы. Влага, содержащаяся в мерзлых торфах и песках, тает, из-за чего полигоны обводняются и покрываются грязью. Этому также способствуют атмосферные осадки. Движение карьерных автосамосвалов в таких условиях сопряжено с повышенным сопротивлением качению колес и абразивным изнашиванием узлов трения. Установлено, что безотказность карьерных автосамосвалов при разработке россыпных месторождений зависит от сезона и срока эксплуатации. Норма корректировки периодичности технического обслуживания по этим факторам в существующих положениях о планово-предупредительных ремонтах отсутствует. Показано, что количество отказов имеет сезонную динамику. Повышение эффективности и ритмичности работы карьерных автосамосвалов можно обеспечить корректировкой периодичности технического обслуживания коэффициентами, позволяющими учесть влияние неучтенных факторов. Для минимизации ошибки при расчете корректировочных коэффициентов целесообразно использовать метод косинор-анализа. Установлено, что этот метод подходит для расчета прогнозного количества отказов.

Ключевые слова: эффективность, карьерный автосамосвал, количество отказов, россыпные месторождения, зависимость, периодичность технического обслуживания, прогнозирование, корректирующие коэффициенты.

Для цитирования: Бочкарев Ю. С., Зырянов И. В. Повышение эффективности эксплуатации карьерных автосамосвалов при разработке россыпных месторождений Севера // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2022. — № 5–2. — С. 80–90. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_52_0_80.

Improving the efficiency of operation quarry dump trucks on placer deposits in the North conditions

Yu. S. Bochkaryov¹, I. V. Zyryanov²

¹ M. K. Ammosov North-Eastern Federal university (NEFU), Yakutsk, Russia, ys.bochkarev@s-vfu.ru;

² Polytechnic Institute (branch) of M. K. Ammosov North-Eastern Federal university (MPIT (branch) of NEFU), Mirny, Russia, ZyryanovIV@alrosa.ru

Abstract: In the article presents the results of the analysis statistical information of failures the quarry dump trucks BelAZ-7540 which operation on the placer deposits of the North. For the example used data about failures quarry dump trucks of the Mayat mine in the Anabar district of Yakutia. The characteristic of conditions of exploitation are shown. The development of placer deposits on the North is carried out seasonally character. In the cold season, open-up operations are carried out with drilling and blasting technology. In the warm season, bulldozers carry out peat stripping and hoeing of thawed sands. The moisture contained in frozen peat and sand melts, it is reason of mud on the polygons. Precipitation also contributes to this. The movement of dump trucks in such conditions are the reasons of increased rolling resistance of wheels and abrasive wear of friction units. It is established that the reliability of quarry dump trucks during the development of placer deposits depends on by the season and the operational life. In the Regulations of the maintenance (repair) periodicity for these factors in the existing provisions on scheduled preventive repairs are not included. It is shown that the number of failures has seasonal dynamics. Improving the efficiency and rhythmicity of work the dump trucks can be provided by correct the maintenance periodicity by coefficients that allow taking into account the influence of unaccounted factors. For minimize of errors in the calculation of correction coefficients, it is advisable to use the kosinor-analysis method. It is found that this method is suitable for calculating the predicted number of failures

Key words: efficiency, quarry dump trucks, number of failures, placer deposits, relationship, maintenance (repair) periodicity, prediction, correction coefficients.

For citation: Bochkaryov Yu. S., Zyryanov I. V. Improving the efficiency of operation quarry dump trucks on placer deposits in the North conditions. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022;(5–2):80–90. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_52_0_80.

Введение

Более 30% россыпных месторождений Якутии разрабатываются с применением бульдозерной техники и экскаваторно-автомобильных комплексов. Вскрытие залежей и разработка песков производится по схеме бульдозер-экскаватор(погрузчик)–автосамосвал. Пески вывозятся карьерными автосамосвалами на склад сезонной обогатительной фабрики или промприбора [1]. Гарантией выполнения объема горных работ является бесперебойная и ритмичная работа карьерных автосамосвалов с заданным коэффициентом готовности.

На основе анализа реестра экспертиз промышленной безопасности и учетных данных по россыпным месторождениям установлено, что для транспортировки вскрышных пород и песков используются самосвалы производителей БелАЗ, Caterpillar, Howo, Volvo, Scania, КрАЗ, КамАЗ. Преобладающая

доля в 70% представлена карьерными автосамосвалами БелАЗ грузоподъемностью 30–45 тонн, более 20% из которых приходится на БелАЗ-7540.

Условия эксплуатации характеризуются совокупностью таких факторов, как: 1) суровые климатические условия (температура воздуха от -57°C до $+30^{\circ}\text{C}$, суточная амплитуда до 20°C); 2) движение по бездорожью и временным автомобильным дорогам с грунтовым покрытием; 3) отсутствие постоянного штата рабочих специальностей и водителей из-за вахтового метода работы.

На полигонах дороги отсутствуют. Карьерные автосамосвалы перемещаются по естественному покрытию, которое представлено оттаявшими горными породами. Поэтому рабочие площадки покрыты водой и грязью, обладающей высокой абразивностью и являющейся причиной повышенного сопротивления движению.

Практика эксплуатации карьерных автосамосвалов БелАЗ-7540 на россыпных месторождениях Севера показывает, что данные факторы оказывают влияние на их работоспособность. Вследствие этого снижается безотказность и ритмичность работы [2].

Известно, что эффективность эксплуатации карьерных автосамосвалов достигается за счет изменения режима работы, повышения ремонтной технологичности, изменения структуры, периодичности и трудоемкости технического обслуживания.

Анализ нормативно-технической литературы [3–4] показывает, что в них отсутствуют нормы корректировки по сезону и сроку эксплуатации карьерных автосамосвалов при разработке россыпных месторождений Севера. А обзор ранее выполненных исследований [5–17] свидетельствует о том, что подавляющее большинство работ направлено на решение проблем эксплуатации карьерных автосамосвалов на коренных месторождениях.

Поэтому разработка способа корректировки периодичности технического обслуживания карьерных автосамосвалов на основе установления зависимостей, связывающих их безотказность и факторы условий эксплуатации на россыпных месторождениях Севера, является актуальной научно-практической задачей.

Материалы и методы исследования

В исследовании использованы статистические данные об отказах и работе карьерных автосамосвалов БелАЗ-7540 серии А на прииске «Маят» в Анабарском районе Якутии с начала эксплуатации в течение назначенного срока службы (5 лет). Выполнена оценка эффективности и ритмичности работы. Получены данные, свидетель-

ствующие о зависимости количества, параметра потока отказов и эксплуатационной производительности от сезона и срока эксплуатации.

Исследование статистики отказов по временам года позволило установить наименее безотказные узлы и агрегаты. На основе графика средне-суточных температур окружающего воздуха год разделен на две равные части по продолжительности — теплое (май-сентябрь) и холодное время (ноябрь-март), а апрель и октябрь являются переходными месяцами между сезонами года.

Прогнозирование количества отказов карьерных автосамосвалов выполнено методом косинор-анализа в программе Mathcad. Он позволяет выделить циклический тренд. Данный метод используется на международном уровне для аналитического исследования временных рядов [18]. Выбор среды для вычислений обоснован тем, что он имеет простой интерфейс, формулы вводятся в обычном исходном виде без перевода на языки программирования.

Исследование статистики отказов

По данным, полученным с начала эксплуатации карьерных автосамосвалов БелАЗ-7540, за нормативный срок службы (5 лет), установлены зависимости, приведенные на рис. 1, 2.

Эксплуатационная производительность среднесписочной машины в теплое время года снижается более чем в 1,5 раза (рис. 1), а параметр потока отказов увеличивается почти в 3 раза (рис. 2, а). Это свидетельствует о зависимости безотказности карьерных автосамосвалов от сезона эксплуатации.

На рис. 1 видно, что в июле-сентябре фактическая производительность среднесписочной машины немного

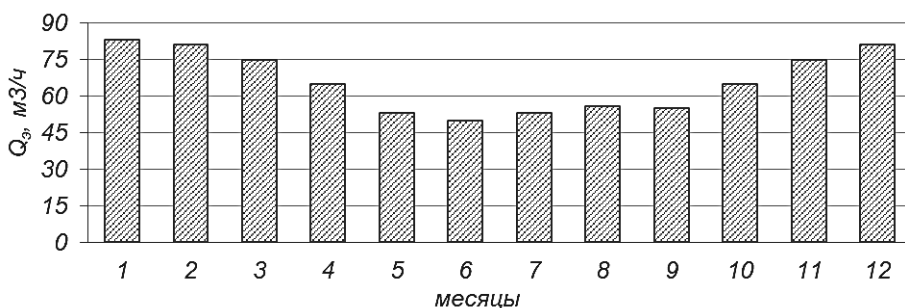


Рис. 1. Фактическая производительность среднесписочного карьерного автосамосвала БелАЗ-7540 за нормативный срок службы (5 лет)

Fig. 1. Actual performance of the BelAZ-7540 medium-sized dump truck over the standard service life (5 years)

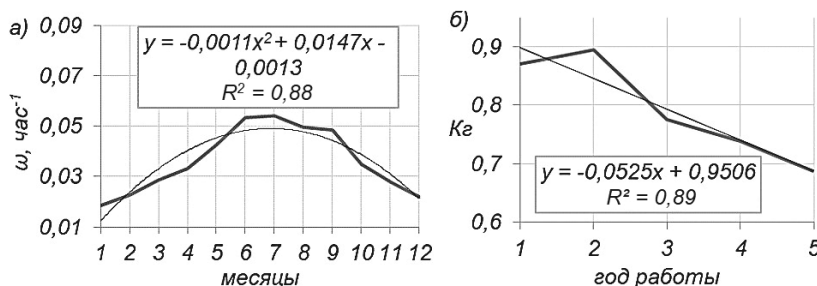


Рис. 2. Параметр потока отказов (а) и коэффициент готовности (б) карьерных автосамосвалов БелАЗ-7540

Fig. 2. Failure flow parameter (a) and readiness coefficient (b) of BelAZ-7540 dump trucks

увеличивается, что может быть связано с улучшением дорожных условий на полигонах из-за уменьшения влажности песков.

На рис. 2, б видно, что безотказность карьерных автосамосвалов БелАЗ-7540 за нормативный срок службы снижается более, чем на 20%. При неизменной периодичности технического обслуживания происходит накопление скрытых повреждений, что приводит к увлечению количества отказов.

На рис. 3 показано распределение количества отказов по агрегатам и временам года. Исследование статистических данных об отказах позволило установить, что: 1) наибольшая доля (51%) приходится на подвеску, силовую установку и ведущий мост,

2) подвеска, ведущий и передний мост, рулевое управление в теплое время года выходят из строя почти в 2 раза чаще.

Увеличение количества отказов связано с ухудшением дорожных условий. Автосамосвалы перемещаются по оттаявшим горным породам. Поэтому рабочие площадки покрыты водой и грязью. Она является причиной как абразивного изнашивания узлов трения, так и повышенного сопротивления движению карьерных автосамосвалов.

Абразивному изнашиванию подвергаются подшипники ШСЛ (шарнир скольжения линейный) в узлах трения подвески, ведущего и переднего моста, рулевого управления и рабочие поверхности гидроцилиндров.

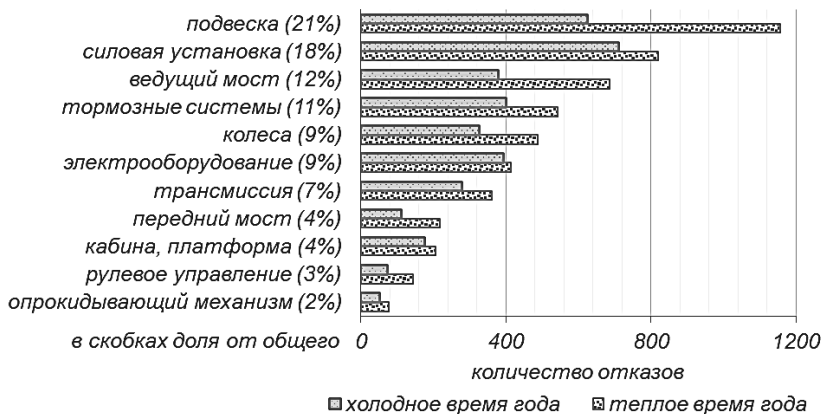


Рис. 3. Распределение отказов карьерных автосамосвалов БелАЗ-7540 по агрегатам и временам года из расчета на 10 машин за нормативный срок службы (5 лет)

Fig. 3. Distribution of failures of BelAZ-7540 dump trucks by aggregates and seasons based on 10 cars for the standard service life (5 years)

Несмотря на то, что карданная передача, системы двигателя, гидромеханической и согласующей передачи, бортовой редуктор, коронная и ведущая шестерня закрыты от внешней среды, они чаще выходят из строя в теплое время года. Это связано с повышенными нагрузками, которые они испытывают из-за сопротивления движению в условиях бездорожья.

Комплексное действие этих факторов приводит к снижению безотказности карьерных автосамосвалов в теплое время года почти в 2 раза. Полученные данные в результате исследования свидетельствуют о том, что сезон и срок эксплуатации карьерных автосамосвалов при разработке россыпных месторождений Севера оказывают значительное влияние на их работоспособность.

Разработка способа корректировки периодичности технического обслуживания

Количество отказов карьерных автосамосвалов зависит от сезона и срока эксплуатации. Повышение безотказности карьерных автосамосвалов можно обеспечить корректировкой периодич-

ности технического обслуживания коэффициентами, учитывающими влияние неучтенных факторов.

Расчет корректировочного коэффициента целесообразно производить по данным о количестве отказов узлов и агрегатов, испытывающих нагрузки из-за сопротивления движению карьерного автосамосвала (трансмиссия, подвеска, рулевое управление, ведущий и передний мост). Для минимизации ошибки при расчете корректировочных коэффициентов целесообразно использовать метод косинор-анализа.

Срок эксплуатации учитывается коэффициентом K_1 :

$$K_1 = \frac{N_\phi}{N_n}, \quad (1)$$

где N_ϕ , N_n – фактическое количество отказов карьерных автосамосвалов за текущий год работы и их прогнозируемое количество за следующий год.

Сезон эксплуатации можно учесть по коэффициенту K_2 :

$$K_2 = \frac{\sum N_s}{\sum N_l}, \quad (2)$$

где $N_{з}$, $N_{п}$ — фактическое и прогнозируемое количество отказов карьерных автосамосвалов по сезонам за текущий и следующий год работы.

Результирующий коэффициент рассчитывается по формуле:

$$K_{кор} = K_1 \times K_2. \quad (3)$$

Прогнозируемое количество отказов карьерных автосамосвалов можно рассчитать методом косинор-анализа. Это математический метод приближения статистического ряда к синусоиде аппроксимирующей функцией следующего вида:

$$U(t) = A \cos(\omega_0 t - \phi) + h + pt = x \cos(\omega_0 t) + y \sin(\omega_0 t) + h + pt, \quad (4)$$

где A — амплитуда изменения количества отказов, ϕ — акрофаза, h — мезор, p — коэффициент увеличения количества отказов, x и y — координаты центра эллипса, ω_0 — угловая частота равная $2\pi/T$, где T — период, в течение которого происходит изменение количества отказов, t — месяц, $U(t)$ — количество отказов.

Вычисление амплитуды, акрофазы, мезора, коэффициента увеличения количества отказов производится системой уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dx}{dt} = 2 \sum_{i=1}^m \left[x \cos(\omega_0 t_i)^2 + y \frac{\sin(2\omega_0 t_i)}{2} + h \cos(\omega_0 t_i) + pt_i \cos(\omega_0 t_i) - U_i \cos(\omega_0 t_i) \right] = 0 \\ \frac{dy}{dt} = 2 \sum_{i=1}^m \left[\frac{\cos(2\omega_0 t_i)}{2} + y \sin(\omega_0 t_i)^2 + h \sin(\omega_0 t_i) + pt_i \sin(\omega_0 t_i) - U_i \sin(\omega_0 t_i) \right] = 0 \\ \frac{dh}{dt} = 2 \sum_{i=1}^m [x \cos(\omega_0 t_i) + y \sin(\omega_0 t_i) + h + pt_i - U_i] = 0 \\ \frac{dp}{dt} = 2 \sum_{i=1}^m [xt_i \cos(\omega_0 t_i) + yt_i \sin(\omega_0 t_i) + ht_i + pt_i^2 - U_i t_i] = 0 \end{array} \right. \quad (5)$$

Решение системы дифференциальных уравнений выполняется матричным методом:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ h \\ p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\omega_0 t_i)^2 & \frac{\sin(2\omega_0 t_i)}{2} & \cos(\omega_0 t_i) & t_i \cos(\omega_0 t_i) \\ \frac{\cos(2\omega_0 t_i)}{2} & \sin(\omega_0 t_i)^2 & \sin(\omega_0 t_i) & t_i \sin(\omega_0 t_i) \\ \cos(\omega_0 t_i) & \sin(\omega_0 t_i) & 1 & t_i \\ t_i \cos(\omega_0 t_i) & t_i \sin(\omega_0 t_i) & t_i & t_i^2 \end{bmatrix}^{-1} \times \begin{bmatrix} U_i \cos(\omega_0 t_i) \\ U_i \sin(\omega_0 t_i) \\ U_i \\ U_i t_i \end{bmatrix}. \quad (6)$$

Значение амплитуды рассчитывается по полученным данным:

$$A = \sqrt{x^2 + y^2}. \quad (7)$$

При расчете прогнозного количества отказов должно соблюдаться условие: амплитуда изменения расчетного количества отказов (A) должна находиться в пределах доверительного интервала (δ). Если $A < \delta$, то условие соблюдено. Противоположный случай свидетельствует о том, что для прогнозирования динамического ряда количества отказов метод косинор-анализа не подходит.

Доверительный интервал определяется по формуле:

$$\delta = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m [U_i(t_i) - U_i]^2}{m}}, \quad (8)$$

где $U_i(t_i)$ – аппроксимированное и $U(t)$ – фактическое количество отказов, m – количество наблюдений.

Обсуждение результатов

Вычислительные эксперименты выполнялись в программе Mathcad. Использованы данные о суммарном количестве отказов трансмиссии, подвески, рулевого управления, ведущего и переднего моста карьерных автосамосвалов БелАЗ-7540 за нормативный срок службы. На рис. 4 приведен график прогнозного и фактического количества отказов.

На рис. 4 видно, что количество отказов карьерных автосамосвалов при разработке россыпных месторождений повышается не только в теплое время года, но и с увеличением срока эксплуатации.

Анализ величины ошибки свидетельствует о том, что средняя абсолютная процентная ошибка (МАРЕ) аппроксимации равна 9%, что соот-

ветствует оценке «высокая точность расчета». Средняя процентная ошибка (МРЕ) больше нуля. Это свидетельствует о том, что прогнозируемое количество отказов меньше фактических в среднем на 9%.

Полученные данные в результате вычислительных экспериментов позволили установить, что точность расчета прогнозного количества отказов тем выше, чем больше длина статистического ряда данных.

На рис. 4 видно понижение количества отказов карьерных автосамосвалов БелАЗ-7540 во второй год эксплуатации, что связано с устранением «детских болезней». Дальнейшее увеличение количества отказов связано с накоплением скрытых повреждений, износом деталей узлов и агрегатов в процессе эксплуатации.

Значения корректирующих коэффициентов по годам работы карьерных автосамосвалов БелАЗ-7540, рассчитанные по формулам 1–3, приведены в таблице.

В таблице видно, что с увеличением срока эксплуатации карьерных автосамосвалов значение корректирующего коэффициента $K_{кор}$ уменьшается. Увеличение K_1 объясняется повышением

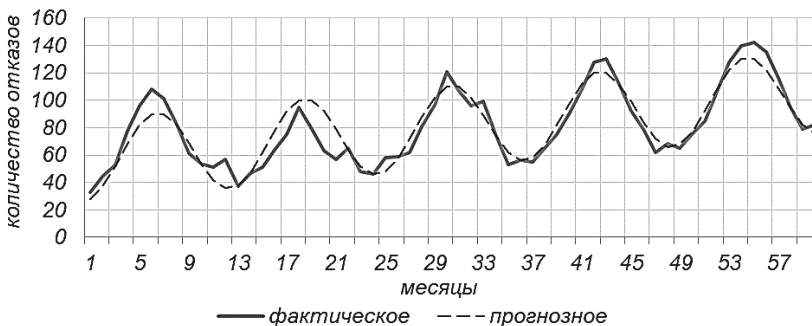


Рис. 4. График фактического и прогнозного количества отказов трансмиссии, рулевого управления, подвески, ведущего и переднего моста на парк карьерных автосамосвалов БелАЗ-7540 за нормативный срок службы (5 лет)

Fig. 4. Graph of the actual and forecast number of failures of the transmission, steering, suspension, drive and front axle on the BelAZ-7540 dump truck fleet for the standard service life (5 years)

Таблица

Корректирующие коэффициенты по годам работы карьерных автосамосвалов
Correction coefficients by years of operation of dump trucks

Год работы	Коэффициенты		
	K_1	K_2	$K_{кор}$
1	1,00	1,00	1,00
2	0,75	1,01	0,97
3	0,88	1,12	0,84
4	0,88	0,98	0,87
5	0,96	0,97	0,85

фактического количества отказов и тем, что прогнозируемое количество отказов меньше фактических в среднем на 9%. Увеличение K_2 во второй и третий год объясняется уменьшением количества фактических отказов во второй год работы.

Корректировка периодичности технического обслуживания выполняется ресурсным методом:

$$T_{то} = T_{то}^{пер} K_{кор}, \quad (9)$$

где $T_{то}^{пер}$ — периодичность технического обслуживания по регламенту, $K_{кор}$ — результирующий коэффициент, учитывающий сезон и срок эксплуатации карьерных автосамосвалов при разработке россыпных месторождений.

Корректировка периодичности технического обслуживания карьерных автосамосвалов коэффициентами, учитывающими сезон и срок эксплуатации карьерных автосамосвалов, обеспечит повышение эффективности их использования при разработке россыпных месторождений Севера.

Заключение

Проведенными исследованиями установлено, что трансмиссия, подвеска, рулевое управление, ведущий и передний мост карьерных автосамосвалов подвержены повышенным нагрузкам вследствие ухудшения

дорожных условий. Количество их отказов в теплое время года увеличивается почти в 2 раза.

Анализ полученных данных показал, что на безотказность карьерных автосамосвалов, используемых при разработке россыпных месторождений Севера, значительное влияние оказывают сезон и срок эксплуатации.

Разработан способ расчета коэффициентов, учитывающих сезон и срок эксплуатации карьерных автосамосвалов при разработке россыпных месторождений Севера. Корректировка периодичности технического обслуживания полученными коэффициентами обеспечит уменьшение параметра потока отказов, по нашим подсчетам, примерно на 20%.

Таким образом, повысится эффективность их использования при разработке россыпных месторождений Севера.

Вклад авторов

Бочкарев Ю. С. — получение данных для анализа, выполнение работы по систематизации материала, анализ результатов исследования, написание текста статьи.

Зырянов И. В. — постановка цели и задач исследования, редактирование текста.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ермаков С. А., Потехин А. В.* Анализ применяемых способов разработки и обораживания на россыпных месторождениях Якутии // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). — 2012. — № 57. — С. 218–224.
2. *Bochkaryov Yu., Ishkov A.* The operational reliability of quarry dump trucks BELAZ-7540 in the placer deposits // International Multidisciplinary Scientific GeoConference-SGEM. Sofia. 2020. vol. 20, pp. 325–332. DOI: 10.5593/sgem2020/1.2/s03.042.
3. Правила технической эксплуатации технологического автотранспорта на открытых горных работах [Электронный ресурс]: Утверждено Министром угольной промышленности СССР 5 января 1977 г. Доступ из электронного фонда нормативно-технической и нормативно-правовой информации Консорциума «Кодекс». URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200091439> (дата обращения: 15.09.2021).
4. ГОСТ 21624–81. Система технического обслуживания и ремонта автомобильной техники. Требования к эксплуатационной технологичности и ремонтпригодности изделий [Электронный ресурс]: Утверждено Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 24 декабря 1981 г. Доступ из электронного фонда нормативно-технической и нормативно-правовой информации Консорциума «Кодекс». URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200010710> (дата обращения: 15.09.2021).
5. *Allahkarami Z., Sayadi A. R., Ghodrati B.* Identifying the mixed effects of unobserved and observed risk factors on the reliability of mining hauling system // International Journal of System Assurance Engineering and Management. Springer, 2021, vol. 12(2), pp. 281–289. DOI: 10.1007/s13198–021–01073–3.
6. *Kumar A., Krishnan V.* A Study on Reliability Analysis of Haul Trucks // International Advanced Research Journal in Science, Engineering and Technology. 2017, vol. 4, iss. 3. DOI: 10.17148/IARJSET.2017.4317.
7. *Umirzokov A., Mallaboev U., Saidullozoda S., Khabibullozoda Kh.* 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. 2020, vol. 817, art. 012036. DOI: 10.1088/1757–899X/817/1/012036.
8. *Lagunova Y., Bochkov V., Horoshavin S.* Analysis of the operational characteristics of the main units of BelAZ vehicles in a coal mine // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020, vol. 709, art. 022048. DOI: 10.1088/1757–899X/709/2/022048.
9. *Tumanggor A.* Reliability value analysis of dump truck 108 unit (case study: South Kalimantan coal mining company) // AIP Conference Proceedings. 2018, vol. 2044, art. 020019. DOI: 10.1063/1.5080072.
10. *Власов Ю. А., Спиринов Е. Н., Ляпин А. Н., Чечулин К. Н.* Анализ причин низкой эксплуатационной надежности карьерных автосамосвалов // Научное обозрение. Технические науки. — 2016. — № 5. — С. 37–44.
11. *Глебов А. В., Кармаев Г. Д.* Определение предельных сроков эксплуатации карьерных самосвалов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). — 2015. — № 1. — С. 50–61.
12. *Балгабеков Т. К., Кошмаганбетова А. С.* Факторы, влияющие на эффективность эксплуатации грузовых автомобилей // Международный журнал экспериментального образования. — 2016. — № 12–2. — С. 190–194.
13. *Вуейкова О. Н., Ларин О. Н.* Вопросы повышения эффективности работы карьерного автотранспорта // Вестник Оренбургского государственного университета. — 2011. — № 10(129). — С. 20–25.
14. *Яковлев В. Л., Яковлев В. А.* Формирование транспортных систем карьеров с учетом адаптации к изменяющимся условиям разработки глубокозалегающих сложноструктурных месторождений // Известия высших учебных заведений. Горный жур-

нал. — 2018. — № 6. — С. 118–126. — DOI: 10.21440/0536–1028–2018–6–118–126.

15. Андреева Л. И., Ушаков Ю. Ю. Исследование эксплуатационной надежности карьерных автосамосвалов // Известия Уральского государственного горного университета. — 2016. — № 3(43). — С. 74–77. — DOI: 10.21440/2307–2091–2016–3–74–77.

16. 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). — 2015. — № S1–2. — С. 122–127.

17. Монастырский Ю. А., Потапенко В. В. Моделирование ресурсных и технологических состояний функционирования карьерных самосвалов БелАЗ // Вестник СевНТУ. — 2013. — № 143. — С. 83–87.

18. Дещеревский А. В., Журавлев В. И., Никольский А. Н., Сидорин А. Я. Проблемы анализа временных рядов с пропусками и методы их решения в программе WINABD // Геофизические процессы и биосфера. — 2016. — Т. 15. — № 3. — С. 5–34. **MIAB**

REFERENCES

1. Ermakov S. A, Potekhin A. V. The analysis of applied ways of development and the equipment on alluvial deposits of Yakutia. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2012, no S7, pp. 218–224. [In Russ].

2. Bochkaryov Yu., Ishkov A. The operational reliability of quarry dump trucks BELAZ-7540 in the placer deposits. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference-SGEM*. Sofia. 2020, vol. 20, pp. 325–332. DOI: 10.5593/sgem2020/1.2/s03.042.

3. *Rules of technical operation of technological vehicles in open-pit mining*. Approved by the Minister of Coal Industry of the USSR on January 5, 1977. Access from the electronic service of Information technology company «Codex». URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200091439> (date of request: 09.15.2021). [In Russ].

4. *State Standart 21624–81. Motor vehicle maintenance and repair system*. Requirments for maintainability and repairability of items. Approved by the Resolution of the USSR State Committee on Standards of December 24, 1981. Access from the electronic service of Information technology company «Codex». URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200010710> (date of request: 09.15.2021). [In Russ].

5. Allahkarami Z., Sayadi A. R., Ghodrati B. Identifying the mixed effects of unobserved and observed risk factors on the reliability of mining hauling system. *International Journal of System Assurance Engineering and Management*. Springer, 2021, vol. 12(2), pp. 281–289. DOI: 10.1007/s13198–021–01073–3.

6. Kumar A., Krishnan V. A Study on Reliability Analysis of Haul Trucks. *International Advanced Research Journal in Science, Engineering and Technology*. 2017, vol. 4, is. 3. DOI: 10.17148/IARJSET.2017.4317.

7. Umirzokov A., Mallaboev U., Saidullozoda S., Khabibullozoda Kh. 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*. 2020, vol. 817, art. 012036. DOI: 10.1088/1757–899X/817/1/012036.

8. Lagunova Y, Bochkov V, Horoshavin S. Analysis of the operational characteristics of the main units of BelAZ vehicles in a coal mine. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020, vol. 709, art. 022048. DOI: 10.1088/1757–899X/709/2/022048.

9. Tumanggor A. Reliability value analysis of dump truck 108 unit (case study: South Kalimantan coal mining company). *AIP Conference Proceedings*. 2018, vol. 2044, art. 020019. DOI: 10.1063/1.5080072.

10. Vlasov Yu. A., Spirin E. N., Lyapin A. N., Chechulin K. N. Analysis of the reasons for the low operational reliability of quarry dump trucks. *Scientific Review. Technical science*. 2016, no. 5, pp. 37 – 44. [In Russ].
 11. Glebov A. V., Karmaev G. D. Estimation of service life limit for open pit dump-trucks. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2015, no 1, pp. 50 – 61. [In Russ].
 12. Balgabekov T. K., Koshmaganbetova A. S. The factors affecting the truck-efficiency operation. *International journal of experimental education*. 2016, no. 12 – 2, pp. 190 – 194. [In Russ].
 13. Vueikova O. N., Larin O. N. The problem of enhancing the effectiveness of the career of motor transport. *Vestnik of the Orenburg state university*. 2011, no. 10(129), pp. 20 – 25. [In Russ].
 14. Yakovlev V. L., Yakovlev V. A. Open pit transport systems formation with the account of adaptation to deep-lying complex-structured deposits development changing conditions. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal*. 2018, no. 6, pp. 118 – 126. [In Russ]. DOI: 10.21440/0536 – 1028 – 2018 – 6 – 118 – 126.
 15. Andreeva L. I., Ushakov Yu. Yu. Research of operational reliability of quarry dump trucks. *News of the Ural State Mining University*. 2016, no. 3(43), pp. 74 – 77. [In Russ]. DOI: 10.21440/2307 – 2091 – 2016 – 3 – 74 – 77.
 16. Shapovalenko G. N., Zubarev S. F., Glukhorev V. V., Baikin V. S. Enhancement of BelAZ maintenance efficiency in Chernogorsky open pit mine, Suek-Khakassia. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2015, no. S1 – 2, pp. 122 – 127. [In Russ].
 17. Monastyrsky Y. A., Potapenko V. V. Modeling of resource and technological conditions of functioning of BelAZ open pit trucks. *Vestnik of National Technical University (SevNTU)*. 2013, no. 143, pp. 83 – 87. [In Russ].
- Desherevsky A. V., Juravlev V. I., Nikolsky A. N., Sidorin Yu. A. Problems in analysis of time series with gaps and their solutions in Winabd software package. *Geophysical processes and biosphere*. 2016, vol. 15, no. 3, pp. 5 – 34. [In Russ].

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Бочкарев Юрий Семенович – доцент, <http://orcid.org/0000-0002-4609-2524>, ФГАОУ ВО «СВФУ имени М. К. Аммосова», 677016, Якутск, ул. Кулаковского, д. 50, Россия, ys.bochkarev@s-vfu.ru;

Зырянов Игорь Владимирович – докт. техн. наук, зав. кафедрой горного дела, МПТИ (ф) ФГАОУ ВО «СВФУ им. М. К. Аммосова», 678175, Мирный, ул. Тихонова, д. 5, корп. 1, Россия, ZyryanovIV@alrosa.ru.

Для контактов: *Бочкарев Ю. С.*, e-mail: ys.bochkarev@s-vfu.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Bochkaryov Yu. S., docent, <http://orcid.org/0000-0002-4609-2524>, M. K. Ammosov North-Eastern Federal university (NEFU), 677016, Yakutsk, Kulakovskogo st. 50, Russia, ys.bochkarev@s-vfu.ru;

Zyryanov I. V., Dr. Sci. (Eng.), Head of Chair, Polytechnic Institute (branch) of M. K. Ammosov North-Eastern Federal university (MPTI (branch) of NEFU), 678175, Mirny, Tikhonova st. 5, building 1, Russia, ZyryanovIV@alrosa.ru.

Corresponding author: *Bochkaryov Yu. S.*, e-mail: ys.bochkarev@s-vfu.ru.

Получена редакцией 29.09.2021; получена после рецензии 28.02.2022; принята к печати 10.04.2022.

Received by the editors 29.09.2021; received after the review 28.02.2022; accepted for printing 10.04.2022.

