

Риски отказов карьерного экскаватора, связанные с его техническим обслуживанием и ремонтом

А.Э. Салимов, Д.А. Шибанов, С.Л. Иванов✉

Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация
✉ Ivanov_SL@pers.spmi.ru

Резюме: Качественное и своевременное проведение мероприятий технического обслуживания и ремонтов карьерных электрических экскаваторов имеет решающее значение для минимизации рисков отказов. В статье дан анализ значимости факторов влияния на интенсивность отказов, включая такие как эргатический, технический, климатический, организационный и технологический. Анализ показал наибольшую критичность эргатического, технического и климатического факторов, при этом наиболее весомым из них является эргатический. Представлен рейтинг отказов карьерных экскаваторов по системам: рабочее оборудование, подъемный механизм, напорный механизм, ходовой механизм, гидросистема, поворотный механизм и электрооборудование. Наиболее критичными являются – рабочее оборудование, подъемный и напорный механизмы, которые составляют 72%. Показаны принципы формирования концепции технического обслуживания и ремонтов добросовестного технического обслуживания. Для численной оценки рисков отказов карьерных экскаваторов применен принцип Файн-Кинни. Для эффективной технологии учета технического обслуживания и ремонтов предложена цифровизация целевых работ для экскаваторов ЭКГ, представлен перечень кодированных видов работ. Предложенная система кодировки позволяет систематизировать процессы технического обслуживания и ремонтов, обеспечивая контроль и их анализ в течение всего периода эксплуатации.

Ключевые слова: карьерный экскаватор, техническое обслуживание и ремонт, ТОиР, эргатический фактор, CM&R, добросовестное техническое обслуживание, кодирование регламентных работ

Для цитирования: Салимов А.Э., Шибанов Д.А., Иванов С.Л. Риски отказов карьерного экскаватора, связанные с его техническим обслуживанием и ремонтом. *Горная промышленность*. 2024;(2):97–102. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-2-97-102>

Failure risks of mine excavator associated with its maintenance and repair

A.E. Salimov, D.A. Shibanov, S.L. Ivanov✉

Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University, St. Petersburg, Russian Federation
✉ Ivanov_SL@pers.spmi.ru

Abstract: High quality and timely maintenance and repair (M&R) of mine electric excavators is crucial to minimizing the risks of failures. The article analyzes the significance of factors the influence the failure rate, including such factors as ergatic, technical, climatic, organizational and technological. The analysis showed the greatest criticality of ergatic, technical and climatic factors, with ergatic being the most important of them. The failure rating of mine excavators by the following systems is presented: working attachments, lifting gear, pressure mechanism, traveling gear, hydraulic system, rotation gear and electrical equipment. The most critical are the working attachments, lifting gear and pressure mechanisms, which make up 72%. The principles to design the concept of conscientious maintenance and repair practice (CM&R) are shown. The Fine-Kinney principle is applied in numerical estimation of the failure risks of mine excavators. Digitalization of target operations for electric crawler-mounted power shovels is proposed and a list of coded types of operations is presented for efficient accounting of the maintenance and repair works. The proposed coding system allows systematization of the MRO processes, providing control and their analysis during the whole operation period.

Keywords: mine excavator, maintenance and repair, MRO, ergative factor, Conscientious Maintenance and Repair, CM&R, conscientious maintenance, coding of routine maintenance operations

For citation: Salimov A.E., Shibanov D.A., Ivanov S.L. Failure risks of mine excavator associated with its maintenance and repair. *Russian Mining Industry*. 2024;(2):97–102. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-2-97-102>

Введение

Карьерное оборудование в новейшее время является неотъемлемой частью производственного процесса горнодобывающего предприятия [1–3].

Эффективность работы карьерных экскаваторов во многом зависит от уровня и качества технического обслуживания и ремонта (ТОиР). Так, количество внезапных отказов экскаваторного парка, связанных с системой ТОиР, составляет 50%, тогда как с системой эксплуатации – 36% [4]. Наиболее весомый вклад в процесс формирования потоков отказов вносят условия работы экскаватора и организация ведения ремонтных работ, при этом последние более весомы, составляя 40 и 23% простоев соответственно [4].

Значимость факторов, влияющих на интенсивность отказов [5–10], приведена на рис. 1 в виде диаграммы Парето.

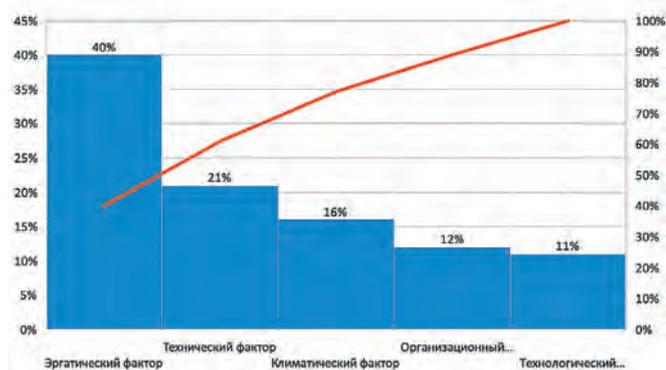


Рис. 1
Весомость факторов, влияющих на интенсивность отказов

Fig. 1
The weight of factors influencing the failure rate

Методология исследования

Группа отказов, обусловленная влиянием эргатического фактора, включает эксплуатационные отказы и отказы по общей причине, связанные с деятельностью человека при управлении или ведении работ и определяемые опытом, уровнем квалификации, качеством выполнения работ, физическим и психологическим состоянием и, соответственно, связанных с этим ошибок, повлекших за собой отказы и повреждения оборудования [7; 11]. Что касается мероприятий технического обслуживания и ремонтов¹ (ТОиР), то выполнение ремонтных и профилактических работ низкоквалифицированными специалистами, недостаточно мотивированными работниками, не заинтересованными в качественном выполнении своих обязанностей, нарушение последовательности выполнения пунктов ТОиР, графика работ, использование некачественного ЗИП и материалов влекут за собой отказы оборудования и повторное обслуживание [12–14].

Технический фактор определяет группу отказов, связанных с дефектами оборудования, его элементов и систем, и объединяет: конструктивные, производственные, деграционные отказы, а также отказы по общей причине, связанные с качеством и своевременностью проведения

мероприятий ТОиР, несоблюдением нормативов и регламентных работ, несвоевременным их проведением.

Климатический фактор объединяет отказы, вызванные проявлением погодных условий [15].

Организационный фактор определяет группу систематических отказов, связанных с организацией ведения работ, включая планирование, координацию и управление рабочими процессами, в том числе при ведении ТОиР.

Технологический фактор определяет группу систематических отказов, связанных с технологией разработки, подготовки рабочей площадки и забоя, наличием негабарита и рядом других подобных причин.

Результаты

Как видно из анализа рис. 1, наиболее критичными являются эргатический, технический и климатический факторы, в сумме составляя 77%, при этом наиболее весомым является эргатический фактор. Вышеуказанные факторы определяют собственно конкретные отказы и возникновение дефектов в системах и оборудовании карьерного экскаватора ЭКГ-18Р/20К [16–19]. Анализ отказов экскаваторов по основным механизмам и системам представлен на рис. 2.

Оптимизация процедур технического обслуживания и ремонта способны свести к минимуму потенциальные сбои, продлить срок службы экскаватора и снизить простой оборудования. Выбор стратегии и реализация уровня поддержки технического обслуживания и ремонта в соответствии с ГОСТ 18322–2016 и ГОСТ Р 27.601–2011 осуществляются с учетом конкретных условий эксплуатации карьерной техники в рамках четко прописанной процедуры выполнения работ, связанных с диагностикой и техническим обслуживанием, оценкой экономических издержек, учетом интересов владельцев, операторов, пользователей, производителей и поставщиков.

Если кратко рассмотреть имеющиеся на текущий момент стратегии, то можно выделить следующие: предупредительную; по факту отказа; по фактическому состоянию; комбинированную, включающую элементы первых трех стратегий. В рамках этих стратегий существует множество концепций (способов) их реализации: *система ППР, TBM (Time-Based Maintenance), CBM (Condition-Based Maintenance), RCM (Reliability-Centered Maintenance), RBM (Risk Based Maintenance) и ряда других* [16; 20].

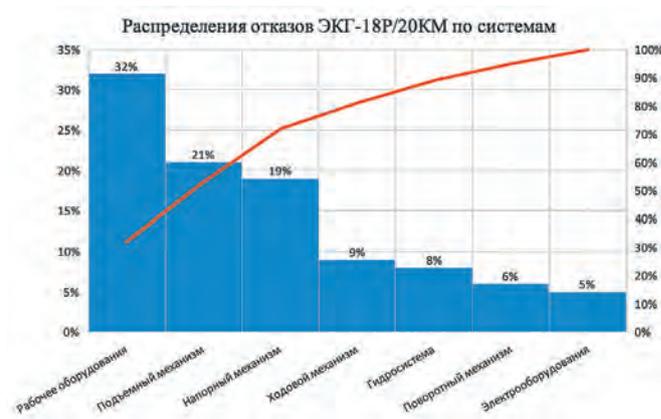


Рис. 2
Посистемный процент отказов

Fig. 2
System-wise failure rate

¹ Анализ и показатели эффективности системы ТОиР. Режим доступа: https://spb.1cbit.ru/blog/analiz-i-pokazateli-effektivnosti-sistemy-toir/?utm_referrer=https%3A%2F%2Fwww.yandex.ru%2F (дата обращения 12.01.2024).

Обсуждение

Сильная сторона многих существующих концепций (способов) ТОиР состоит в алгоритмизации процесса, документировании и цифровизации его осуществления, иерархичности структур его воспроизведения, контроле выполнения операций, экономическом стимулировании качества выполнения работ, однако это же является и их слабостью при достижении критического уровня использования процедуры, реализуемой эргатической системой. Объединяя в добросовестное техническое обслуживание (SM&R) позитивные принципы существующих концепций, необходимо иметь систему учета состояния объекта в виде электронного документооборота, включая соответствующие технологические карты и листы требуемого инструментария [16; 20–23]. SM&R, опираясь на строгую техническую процедуру, предполагает ее добросовестное выполнение и постоянное стремление к устранению рисков, препятствующих сохранению эффективности сложной системы в реальных условиях ее эксплуатации.

В соответствии с ГОСТ Р 58771–2019 концепция SM&R предполагает применение комбинированной стратегии, где факторы риска ранжируются по уровню возможных угроз в сравнении со значениями границ, установленными в отношении целей организации. При низких значениях рисков отказов систем и их элементов применяют внеплановое восстановление, при высоком уровне угроз осуществляется стратегия ТОиР по фактическому состоянию, на

основе результатов мониторинга технического состояния, их последующего анализа, в остальных случаях осуществляют плановое обслуживание.

Уровень разукрупнения при реализации SM&R применительно к экскаватору ЭКГ18Р/20К принимают на уровне систем и механизмов. Методы, реализуемые при техническом обслуживании экскаватора, в зависимости от уровня решаемых задач осуществляются поэтапным, посистемным, зонным методами закрепленного технического обслуживания, выполняемыми эксплуатационным и специализированным персоналом, который осуществляет профилактическое и корректирующее обслуживание. Оценку добросовестности лица, выполняющего работы, и качество выполняемых им работ осуществляют при инспекционном контроле, где фиксируют соблюдение требований, установленных в нормативных документах на эти работы, и качество выполненных работ [24; 25].

Для оценки рисков, производимой в процессе диагностики оборудования, в системе ТОиР применен принцип Fine-Kinney [26]. Основная идея заключается в численной оценке риска потенциальной опасности выявленных повреждений или дефектов, определяемой как произведение вероятности отказа, величины остаточного ресурса эксплуатируемого элемента, и последствий, к которым этот отказ может привести. Все три составляющих оцениваются в безразмерных баллах по аналогии с ГОСТ Р 58771–2019, ГОСТ Р 27.606–2013 и ГОСТ 27.310–95.

Таблица 1
Таблица кодов технического обслуживания

Table 1
Maintenance code table

| Виды работ | Содержание работ | Целевое назначение | Коды* |
|---|---|--|-----------------|
| Контроль технического состояния | | | |
| Визуальный контроль без инструментов | Осмотр корпуса, рабочего оборудования, поверхности под гусеничными рамами и вокруг них на наличие признаков утечки масла, осмотр зубьев ковша, осмотр днища ковша, осмотр верхней части машин, состояние канатов, осмотр вентиляционных модулей | Выявление внешних повреждений и износа, определение места утечки, определение повреждения зубьев, днища ковша и канатов, проверка отсутствия протечек в крыше кузова, проверка крепления вентиляционных модулей, проверка надёжности крепления канатов на барабане | K01-(1-2)(0-10) |
| ... | ... | ... | ... |
| Проверка механических систем | Осмотр и тестирование механических соединений и передач, роликового круга | Обеспечение работоспособности механических частей, проведение полного поворота платформы, осмотр зубчатого венца и роликов | K08-(1-2)(0-10) |
| Технологическое обслуживание | | | |
| Технологическое обслуживание двигателя | Проверка и обслуживание электродвигателей | Поддержание работоспособности двигателя | T01-(1-2)(0-10) |
| ... | ... | ... | ... |
| Технологическое обслуживание | Подготовка к использованию | Приведение экскаватора в состояние готовности к работе | T09-(1-2)(0-10) |
| Поддержание и восстановление надёжности | | | |
| Поддержание и восстановление работоспособности изделия и (или) параметров безотказности и долговечности | Замена или восстановление и изношенных механических частей | Восстановление работоспособности механических систем | P01-(1-2)(0-10) |
| | ... | ... | ... |
| | Смазочные работы | Восстановление работоспособности и долговечности изделий | P10-(1-2)(0-10) |

* 01,02 – виды работы и их содержание; (1-2) – не обнаружен отказ или повреждение (1); обнаружен отказ или повреждение (2); 0-10) – оценка тяжести последствий отказа.

Балльная шкала оценки рисков: выше 320 – 10, очень высокий риск, немедленное прекращение работы; 160–320 – 8, высокий риск, необходимо немедленное проведение корректирующего ТО; 70–160 – 6, существенный риск, необходимо корректирующее или плановое ТО; 20–70 – 2, возможный риск, необходимо обратить внимание в рамках планового ТО; менее 20 – 1, незначительный риск, подлежит исследованию и плановому ТО.

Техническое обслуживание и ремонт, выполняемые в процессе эксплуатации экскаваторов ЭКГ 18Р/20К, могут быть оценены в нескольких аспектах: контроль технического состояния, технологическое обслуживание, а также поддержание и восстановление надежности.

Контроль технического состояния обеспечивает оценку фактического технического состояния для диагноза уровня готовности машины.

Технологическое обслуживание экскаваторов ЭКГ18Р/20К ориентировано на подготовку, хранение и возврат машин в исходное состояние, выполняемое до начала рабочего процесса, включает заправку и подготовку оборудования. Оно направлено на обеспечение готовности к работе и непрерывности эксплуатации.

Работы по поддержанию и восстановлению надежности экскаваторов ЭКГ направлены на сохранение их рабочих характеристик в установленных пределах на протяжении всего периода эксплуатации.

Перечень целевых работ для экскаваторов ЭКГ закодирован и оформлен в нормативных документах. Пример перечня кодированных видов работ представлен в табл. 1.

Здесь: контроль технического состояния (К); технологическое обслуживание (Т); поддержание уровня готовности и восстановление работоспособности (П).

Заключение

В статье проведен анализ значимости факторов отказов карьерных экскаваторов типа ЭКГ, при этом отказы недетерминированного характера, включающие эргатический и технический факторы, составляют более 60% от всех отказов. Обе группы факторов связаны с системой технического обслуживания и ремонта. Обзор концепций технического обслуживания карьерных экскаваторов показал, что существует насущная необходимость в совершенствовании концепции добросовестного обслуживания – CM&R. Предложены принципы формирования *Conscientious Maintenance and Repair*. Уровень разукрупнения при реализации CM&R применительно к экскаватору ЭКГ18Р/20К принимают на уровне систем и механизмов.

Для оценки рисков, производимой в процессе диагностики оборудования, применен принцип Файн-Кинни. Величина риска выявленных повреждений или дефектов в процессе функционирования системы определяется как произведение вероятности отказа, величины остаточного ресурса и последствий, к которым этот отказ может привести.

Предложена система кодирования регламентных работ, что открывает новые перспективы для повышения эффективности управления техническим состоянием карьерных экскаваторов.

Список литературы / References

1. Курганов В.М., Грязнов М.В., Колобанов С.В. Оценка надежности функционирования экскаваторно-автомобильных комплексов в карьере. *Записки Горного института*. 2020;241:10–21. <https://doi.org/10.31897/PMI.2020.1.10>
Kurganov V.M., Gryaznov M.V., Kolobanov S.V. Assessment of operational reliability of quarry excavator-dump truck complexes. *Journal of Mining Institute*. 2020;241:10–21. <https://doi.org/10.31897/PMI.2020.1.10>
2. Абдельвахаб Агагена, Михайлов А.В. Влияние железорудной пыли на изнашивание поверхности штоков гидроцилиндров карьерного экскаватора. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2023;(11-1):5–23. https://doi.org/10.25018/0236_1493_2023_111_0_5
Abdelwahab Agaguena, Mikhailov A.V. Iron ore dust influence on the wear surface of quarry excavator hydraulic cylinder rods. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. (In Russ.) 2023;(11-1):5–23. https://doi.org/10.25018/0236_1493_2023_111_0_5
3. Iakupov D., Motyakov N., Ivanova P., Ivanov S. Working parts of means of minerals excavation. *AIP Conference Proceedings*. 2022;2456(1):030012. <https://doi.org/10.1063/5.0074835>
4. Кулецкий В.Н., Жунда С.В., Довженок А.С., Галкин А.В., Полещук М.Н. Методика повышения качества трудовых процессов. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2018;(S42):3–36. <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2018-9-42-3-36>
Kuletsky V.N., Zhunda S.V., Dovzhenok A.S., Galkin A.V., Poleshchuk M.N. Methodology to improve the quality of labour processes. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2018;(S42):3–36. (In Russ.) <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2018-9-42-3-36>
5. Попов Д.В., Беклемешев В.А., Хажиев В.А. Совершенствование контроля энергомеханической службы за условиями и режимами эксплуатации экскаваторов в ООО «Восточно-Бейский разрез». *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2015;(S1-2):113–121.
Popov D.V., Beklemeshev V.A., Khazhiev V.A. Improvement of power-and-mechanic service control over operating conditions and regimes of excavators in Vostochno-Beisky open pit mine. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2015;(S1-2):113–121. (In Russ.)
6. Вакулин Е.А., Заяц А.И., Беклемешев В.А., Ивашкевич В.А., Хажиев В.А., Байкин В.С. Оценка качества расследования и устранения причин отказов оборудования. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2018;(S64):116–126. <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2018-12-64-116-126>
Vakulin E.A., Zayats A.I., Beklemeshev V.A., Ivashkevich V.A., Khazhiev V.A., Baikin V.S. Qualitative assessment of equipment failure cause finding and removal. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2018;(S64):116–126. (In Russ.) <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2018-12-64-116-126>

7. Москвичев В.В., Ковалев М.А. Оценка показателей эксплуатационной надежности карьерных канатных экскаваторов. *Транспортные системы и технологии*. 2020;6(4):25–44. <https://doi.org/10.17816/transsyst20206425-44>
Moskvichev V.V., Kovalev M.A. Assessment of operational reliability indicators of pit rope-operated excavators. *Transportation Systems and Technology*. 2020;6(4):25–44. (In Russ.) <https://doi.org/10.17816/transsyst20206425-44>
8. Альшанская А.А., Доронин С.В., Тюменцев В.А. Экспертное оценивание факторов повышения надежности механического оборудования карьерных экскаваторов. *Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство*. 2023;(19):155–160. <https://doi.org/10.26160/2658-3305-2023-19-155-160>
Alshanskaya A.A., Doronin S.V., Tyumencev V.A. Expert evaluation of the factors of increasing the reliability of the mechanical equipment of mining excavators. *Transport, Mining and Construction Engineering: Science and Production*. 2023;(19):155–160. (In Russ.) <https://doi.org/10.26160/2658-3305-2023-19-155-160>
9. Иванова П.В., Асонов С.А., Иванов С.Л., Кувшинкин С.Ю. Анализ структуры и надежности современного парка карьерных экскаваторов. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2017;(7):51–57. Режим доступа: https://giab-online.ru/files/Data/2017/7/51_57_7_2017.pdf (дата обращения: 12.01.2024).
Ivanova P.V., Asonov S.A., Ivanov S.L., Kuvshinkin S.Yu. Analysis of structure and reliability of modern fleet of mine shovels. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2017;(7):51–57. (In Russ.) Available at: https://giab-online.ru/files/Data/2017/7/51_57_7_2017.pdf (accessed: 12.01.2024).
10. Великанов В.С. Прогнозирование нагруженности рабочего оборудования карьерного экскаватора по нечетко-логистической модели. *Записки Горного института*. 2020;241;29–36. <https://doi.org/10.31897/PMI.2020.1.29>
Velikanov V.S. Mining excavator working equipment load forecasting according to a fuzzy-logistic model. *Journal of Mining Institute*. 2020;241;29–36. <https://doi.org/10.31897/PMI.2020.1.29>
11. Великанов В.С., Мусонов О.С., Панфилова О.Р., Ильина Е.А., Дёрина Н.В. Инструменты предиктивной аналитики в минимизации отказов горнотранспортного оборудования. *Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова*. 2021;19(4):5–15. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2021-19-4-5-15>
Velikanov V.S., Musonov O.S., Panfilova O.R., Ilina E.A., Dyorina N.V. Predictive analytics tools in minimising mining equipment failures. *Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University*. 2021;19(4):5–15. (In Russ.) <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2021-19-4-5-15>
12. Шибанов Д.А., Иванов С.Л., Шешукова Е.И., Недашковская Е.С. Эффективность функционирования карьерного экскаватора как эргатической системы. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2023;(11-1):144–158. Режим доступа: https://giab-online.ru/files/Data/2023/11/2023_11-1_144-158.pdf (дата обращения: 12.01.2024).
Shibanov D.A., Ivanov S.L., Sheshukova E.I., Nedashkovskaya E.S. Efficiency of operation of a quarry excavator as an ergatic system. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2023;(11-1):144–158. (In Russ.) Available at: https://giab-online.ru/files/Data/2023/11/2023_11-1_144-158.pdf (accessed: 12.01.2024).
13. Ivanov S.L., Shishkin P. Influence of the material structure and properties on the wear resistance of gears with different geometries. *Materials Science Forum*. 2021;1022:136–141. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.1022.136>
14. Klevtsov V.A., Timofeev D.Y., Khalimonenko A.D. Improved design of manufacturing processes for mining machines: basing concepts. *Russian Engineering Research*. 2023;43(11):1367–1375 <https://doi.org/10.3103/S1068798X23110151>
15. Иванова П.В., Иванов С.Л., Кувшинкин С.Ю., Шибанов Д.А. Индекс жесткости погоды как интегральный показатель влияния погодных условий на работоспособность карьерных экскаваторов. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2017;(S38):359–365. <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2017-12-38-359-368>
Ivanova P.V., Ivanov S.L., Kuvshinkin S.Yu., Shibanov D.A. Index of weather hardness as an integral indicator of the effect of weather conditions on the performance of quarry excavators. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2017;(S38):359–365. (In Russ.) <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2017-12-38-359-368>
16. Пумпур Е.В., Князькина В.И., Сафрончук К.А., Иванов С.Л. Оценка факторов влияния на выбор стратегии технического обслуживания экскаваторов. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2019;(S41):3–19. <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2019-12-41-3-19>
Pumpur E.V., Knyazkina V.I., Safronchuk K.A., Ivanov S.L. Assessment of the influence factors on the choice of the maintenance strategy for excavators. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2019;(S41):3–19. (In Russ.) <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2019-12-41-3-19>
17. Чуднова Г.А., Кислов А.С. *Организация ремонтов и технического обслуживания оборудования*. М.: 1С-Публишинг; 2023. 342 с.
Chudova G.A., Kislov A.S. *Organisation of equipment repairs and maintenance*. Moscow: 1C-Publishing; 2023, 342 p. (In Russ.).
18. Герике П.Б., Герике Б.Л., Шахманов В.Н. Выбор и обоснование критерия для диагностики несоосности валопроводов карьерных экскаваторов. *Техника и технология горного дела*. 2021;(3):50–60. <https://doi.org/10.26730/2618-7434-2021-3-50-60>
Gerike P.B., Gerike B.L., Shakhmanov V.N. Selection and justification of criterion for diagnostics misalignment of shaft lines of quarry excavators. *Journal of Mining and Geotechnical Engineering*. 2021;(3):50–60. (In Russ.) <https://doi.org/10.26730/2618-7434-2021-3-50-60>
19. Корогодин А.С., Иванов С.Л. Техническое обслуживание и ремонт цапф барабанной мельницы плавучего комплекса горного оборудования. *Устойчивое развитие горных территорий*. 2023;15(3):760–770. <https://doi.org/10.21177/1998-4502-2023-15-3-760-770>
Korogodin A.S., Ivanov S.L. Maintenance and repair of drum mill trunnions of a floating mining equipment complex. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2023;15(3):760–770. (In Russ.) <https://doi.org/10.21177/1998-4502-2023-15-3-760-770>

20. Шкодин А. Обслуживание оборудования – как оптимизировать затраты. *Электроника: наука, технология, бизнес*. 2016;(8):116–124. Режим доступа: <https://www.electronics.ru/journal/article/5694> (дата обращения: 12.01.2024).
Shkodin A. Equipment maintenance: how to optimize costs. *Electronics: Science, Technology, Business*. 2016;(8):116–124. (In Russ.) Available at: <https://www.electronics.ru/journal/article/5694> (accessed: 12.01.2024).
21. Асонов С.А., Иванова П.В., Иванов С.Л., Шишлянников Д.И. Принципы построения модели технического состояния трансмиссии горной машины при ее эксплуатации. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2017;(3): 15–27.
Asonov S.A., Ivanova P.V., Ivanov S.L., Shishlyannikov D.I. Principles of construction of models of the technical state of transmission of mining machine during its operation. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2017;(3):15–27.
22. Ivanov S., Knyazkina V., Myakotnykh A. Recording gear-type pump acoustic signals for assessing the hydraulic oil impurity level in a hydraulic excavator transmission. *E3S Web of Conferences*. 2021;326:00014. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202132600014>
23. Кац Б.А. Контроль процессов ТОиР: как добиться эффективности? *Управление производством*. 2009;(5-6):60–64. Режим доступа: https://itm.spb.ru/files/contr_proc_toir.pdf (дата обращения: 12.01.2024).
Kats B.A. Controlling the MRO processes: how to achieve efficiency? *Upravlenie Proizvodstvom*. 2009;(5-6):60–64. (In Russ.) Available at: https://itm.spb.ru/files/contr_proc_toir.pdf (accessed: 12.01.2024).
24. Антоненко И.Н., Кац Б.А. Анализ рисков и электронный журнал дефектов. *Молочная промышленность*. 2013;(5):30–33.
Antonenko I.N., Kats B.A. Analysis of risks and electronic defects register. *Molochnaya promyshlennost*. 2013;(5):30–33. (In Russ.)
25. Сычев Ю.А., Назарычев А.Н., Дяченко Г.В. Повышение безопасности труда водителей карьерных самосвалов путем снижения риска возникновения отказов функциональных узлов тягового электропривода в условиях эксплуатации. *Безопасность труда в промышленности*. 2023;(9):52–58. <https://doi.org/10.24000/0409-2961-2023-9-52-58>
Sychev Yu.A., Nazarychev A.N., Dyachenok G.V. Improving the labor safety of mining dump truck drivers by reducing the risk of failure of the functional units of the traction electric drive under operating conditions. *Occupational Safety in Industry*. 2023;(9):52–58. (In Russ.) <https://doi.org/10.24000/0409-2961-2023-9-52-58>
26. Dagsuyu C., Oturakci M., Kokangül A. A new approach to Fine-Kinney method and an implementation study. *Alphanumeric Journal*. 2015;3(2):83–92. <https://doi.org/10.17093/aj.2015.3.2.5000139953>

Информация об авторах

Салимов Аббос Эркин угли – аспирант кафедры машиностроения, Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Шибанов Даниил Александрович – кандидат технических наук, доцент кафедры машиностроения, Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Иванов Сергей Леонидович – доктор технических наук, профессор кафедры машиностроения, Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0002-7014-2464>; e-mail: Ivanov_SL@pers.spmi.ru

Information about the authors

Abbos Erkin ugli Salimov – postgraduate student, Department of Mechanical Engineering, Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University, St. Petersburg, Russian Federation

Daniil A. Shibanov – Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Department of Mechanical Engineering, Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University, St. Petersburg, Russian Federation

Sergey L. Ivanov – Dr. Sci. (Eng.), Professor, Department of Mechanical Engineering, Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University, St. Petersburg, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0002-7014-2464>; e-mail: Ivanov_SL@pers.spmi.ru

Информация о статье

Поступила в редакцию: 17.02.2024

Поступила после рецензирования: 04.03.2024

Принята к публикации: 11.03.2024

Article info

Received: 17.02.2024

Revised: 04.03.2024

Accepted: 11.03.2024