

ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТ ПО ОЦЕНКЕ ВЕСОМОСТИ ОТКАЗА РЕСУРСОПРЕДЕЛЯЮЩИХ СИСТЕМ КАРЬЕРНОГО ГУСЕНИЧНОГО ЭКСКАВАТОРА

Салимов А.Э., Шешукова Е.И., Шибанов Д.А., Иванов С.Л.

Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, Санкт-Петербург

Ключевые слова: элементы систем, риск, карьерный экскаватор, схемы надежности механизмов экскаватора, техническое обслуживание и ремонт, кодирование регламентных работ.

Аннотация. Показано, что качество и своевременность проведения мероприятий технического обслуживания и ремонта в значительной степени влияют на интенсивность отказов экскаваторов. Представлен статистический анализ и оценка весомости отказов ресурсопределяющих систем карьерного гусеничного экскаватора ЭКГ-20КМ горнорудных предприятиях республики Узбекистан и России. Основываясь на статистиках материале, приведены процентные доли отказов, производящиеся на рабочее оборудование и главные привода, построены структурные схемы надежности привода напора и подъема экскаватора ЭКГ-20КМ. Показан перечень диагностических процедур контроля технического состояния механических систем и подсистем экскаватора, а также предложена стратегия оценки весомости отказов с использованием принципов Файна-Кинни. Для эффективной технологии учета технического обслуживания и ремонта предложена цифровизация целевых работ для экскаваторов ЭКГ, представлен перечень кодированных видов работ в рамках системы добросовестного технического обслуживания CM&R.

ORGANIZATION OF WORKS ON ESTIMATION OF WEIGHT OF FAILURE WEIGHT OF RESOURCE-DETERMINING SYSTEMS OF QUARRY CRAWLER EXCAVATOR

Salimov A.E., Sheshukova E.I., Shibanov D.A., Ivanov S.L.

Empress Catherine II Saint-Petersburg Mining University, Saint-Petersburg

Keywords: systems elements, risk, mining excavator, excavator mechanism reliability schemes, maintenance and repair, routine maintenance coding.

Abstract. It is shown that the quality and timeliness of maintenance and repair activities significantly affect the intensity of excavator failures. The statistical analysis and estimation of weight of failures of resource-determining systems of the resource-determining systems of the open-pit crawler excavator EKG-20KM at mining enterprises of the Republic of Uzbekistan and Russia is presented. Based on statistical material, given percentages of failures, produced on the working equipment and main drives, built structural schemes of reliability of the drive head and lift excavator EKG-20KM. A list of diagnostic procedures for monitoring the technical condition of mechanical systems and subsystems of an excavator is shown, and a strategy is proposed for assessing the severity of failures using the Fine-Kinney principles. Digitalization of target works for ECG excavators is proposed for effective technology of maintenance and repair accounting, the list of coded types of works within conscientious technical maintenance CM&R system is presented.

Введение

Современные горнодобывающие предприятия – это комплекс взаимосвязанных между собой единиц сложного горного оборудования, поддержание уровня готовности которых невозможно без проведения грамотного технического обслуживания и соответствующего объема ремонтно-восстановительных работ. Карьерные экскаваторы являются базовыми машинами горного предприятия, обеспечивающими экскавацию и погрузку полезного ископаемого. Исследования показывают, что эффективность применения этих машин существенно зависит от уровня технического обслуживания и ремонта (ТОиР). Согласно статистике до 50% внезапных отказов экскаваторов связаны с нарушением проведения мероприятий ТОиР, в то время, как только лишь 36% отказов являются эксплуатационными [1-3].

В настоящее время одними из современных и достаточно широко распространенных экскаваторов являются экскаваторы ЭКГ-18Р/20К.

Основываясь на статистике последних лет, можно сказать, что на многих горнорудных предприятиях Узбекистана и России для экскаваторов ЭКГ-20КМ 35-40% отказов приходится на рабочее оборудование и главные приводы [1, 4, 5]. В частности, на механизмы напора и подъема приходится около 20% всех отказов (рис. 1). При этом механизмы напора и подъема являются ответственными ресурсопределяющими подсистемами экскаватора [6-8].

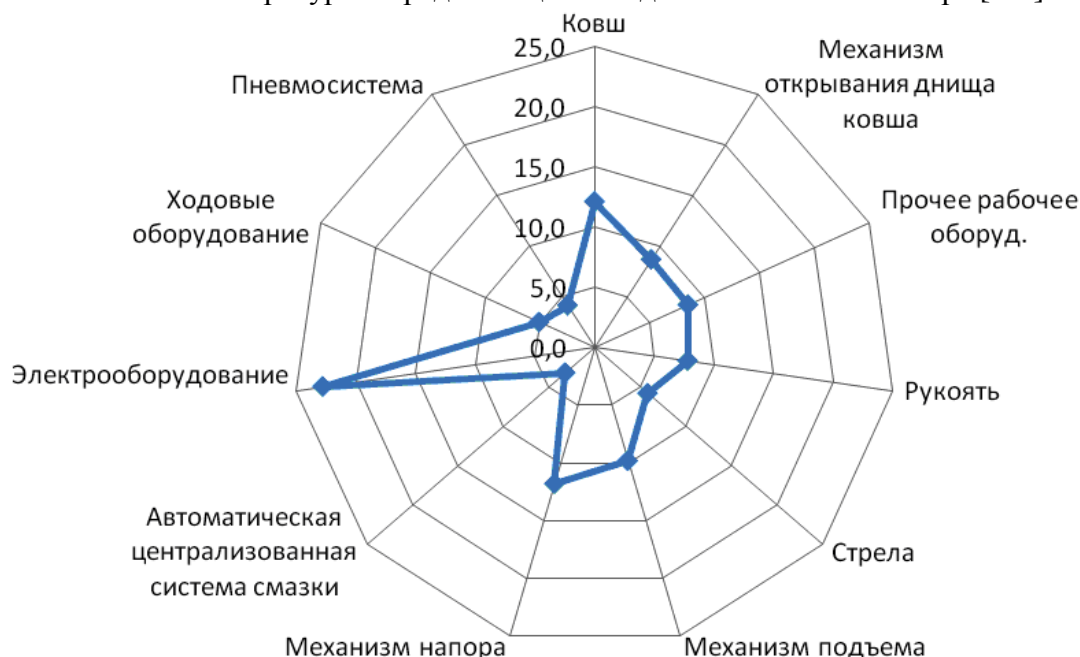


Рис. 1. Весомость отказов ресурсопределяющих систем карьерного гусеничного экскаватора

Материалы и методы исследований

Элементы систем напорного и подъемного механизмов экскаватора ЭКГ-20КМ с точки зрения надежности соединены в последовательные цепочки (рис. 2) и отказ любого из элементов влечёт за собой отказ системы в целом. Основные неисправности, возникающие в напорном и подъемном механизмах, обусловлены процессами изнашивания и механическими повреждениями элементов [9-11].

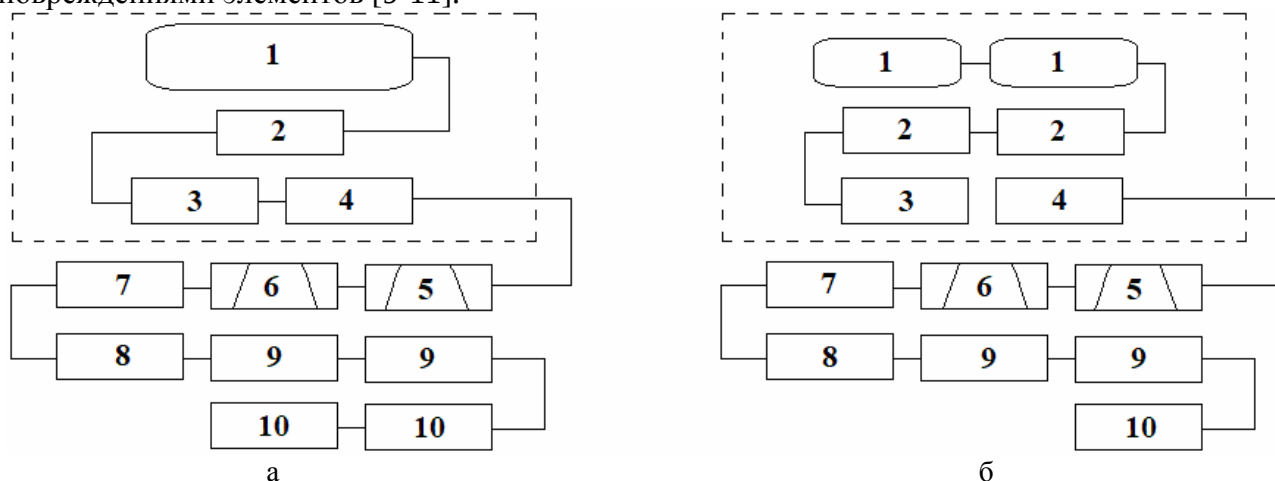


Рис. 2. Структурные схемы надежности механизмов экскаватора напора (а) и подъема (б) экскаватора ЭКГ-20КМ: 1 – электродвигатели; 2 – тормоза; 3 – редуктор тихоходный; 4 – редуктор быстроходный; 5, 6 – барабан; 7 – канаты напорные; 8 – канаты возвратные; 9 – двухручьевые блоки; 10 – полублок

Для контроля технического состояния элементов этих систем и подсистем предусмотрен их визуальный осмотр, в начале и конце смены с фиксацией выявленных повреждений в специальном электронном журнале или констатации отсутствия повреждений и их признаков [7, 12, 13].

При визуальном осмотре фиксируют растяжения, наличие коррозии и износа напорных и возвратных канатов, состояние шпилек и элементов крепления, износы роликов и шкивов, полублоков и двухручьевых блоков наличие достаточности смазки, потеков и трещин, обращают внимание на шум, вибрацию, нагрев элементов и их отдельных узлов.

Подлежат осмотру так же электродвигатели, тормоза, барабаны, редукторы приводов.

Во время недельных технических осмотров вышеуказанные элементы дополнительно инструментально проверяют на нагрев, износ подшипников и зубчатых колес, оценивают исправность электрических элементов, достаточность смазки, вибрацию и шум, фиксируют механические износы поверхностей и стенок, различного рода деформации, данные о выявленных отклонениях так же заносят в журнал [14, 15].

Результаты

Для оценки вероятности и весомости потенциальных отказов по результатам проведенных осмотров, а также инструментального и органолептического контроля применен принцип Файна-Кинни [16-18].

Основная идея инструментального и органолептического контроля заключается в получении численной оценки риска потенциальной опасности выявленных повреждений или дефектов, определяемой как произведение вероятности отказа (P), величины остаточного ресурса (P_v) эксплуатируемого элемента и возможной тяжести последствия (P_s), к которым этот отказ может привести. Каждый параметр оценивается в баллах. Вероятность отказа и величина остаточного ресурса – по 10 бальной шкале: от 0,1 до 10 и от 0,5 до 10 соответственно. Возможная тяжесть последствий – по 100 бальной шкале. За критерий оценки величины остаточного ресурса принята частота появления отказов.

Для оценки весомости отказов используют формулу

$$C = PP_v P_s. \quad (1)$$

Все три составляющих оцениваются в безразмерных баллах. Бальные шкалы представлены в таблице 1.

В зависимости от величины весомости отказа ему присваивают ранг приведенного оперативного вмешательства с расшифровкой соответствующих мероприятий, которому присваивается соответствующий цифровой код.

- Очень высокий (320+ баллов) – требует немедленного прекращения работ (код – 10).
- Высокий (160–320 баллов) – необходимо немедленное проведение корректирующего ТО (код – 8).
- Средний (70–160 баллов) – плановое обслуживание (код – 6).
- Низкий (20–70 баллов) – учёт в плановом ТО (код – 4).
- Незначительный (менее 20 баллов) – не требует немедленных действий (код – 2).

Ниже представлен пример оценки весомости риска редуктора напора.

Во время технического осмотра редукторов напорного механизма выявлено следующее: в течение рабочего дня быстроходный редуктор работал с вибрацией, выявлены трещины на корпусе редуктора, нагрев и потеки масла ($P_v = 6$), возникновение отказа приводит к заметному снижению эксплуатационных характеристик ($P_s = 7$). По данным осмотра предполагается, что очень вероятно произойдет отказ ($P = 6$).

Таким образом весомость отказа C имеет величину:

$$C = PP_v P_s = 6 \cdot 6 \cdot 7 = 252 \text{ баллов.}$$

На основании этих результатов можно сделать вывод, что необходимо немедленное проведение корректирующего ТО. Указанные отклонения от нормального состояния зафиксированы в таблице 2 с присвоением им соответствующих расширенных кодов. При этом кодировка проводится автоматически по специальному алгоритму на основании результатов внесенных в журнал органолептического и инструментального контроля состояния объекта.

Табл. 1. Бальная шкала потенциальных отказов

Вероятность отказа		Величина остаточного ресурса		Тяжесть последствий отказа	
Баллы	Прогноз вероятности отказов	Баллы	Частота появления отказов	Баллы	Возможные последствия отказа
0,1	Фактически невозможно	0,5	1 раз в год	1	Отказ не приводит к заметным последствиям
0,5	Вряд ли возможно	1	1 раз в месяц	3	Последствия отказа незначительны, но потребитель может выразить неудовольствие его появлением
1	Маловероятно	2	1-3 раза в месяц	7	Отказ приводит к заметному снижению эксплуатационных характеристик и/или к неудобству применения экскаватора
3	Нехарактерно, но возможно	3	1-2 раза в неделю / 1 раз в смену	15	Экскаватор не может быть использован по назначению, но угрозу безопасности отказ не представляет
6	Очень вероятно	6	Ежедневно в течение рабочего дня	40	Отказ представляет угрозу безопасности людей или окружающей среде или влечет значительные экономические потери
10	Скорее всего, произойдет	10	Постоянно в течение смены	100	Высокая степень угрозы безопасности людей, и/или экономических потерь и/или окружающей среде

Табл. 2. Контроль технического состояния редуктор напора

Элемент или система. Инструменты	Целевое назначение	Коды
Нагрев корпуса, подшипников, сравнение с показаниями датчиков. ВИК (органолептический, тепловизоры, термометры, термопары, терморезисторы)	В соответствии со шкалой температур: нагрев > 70°C	К-1-2-8
Повреждение корпуса, наличие трещин (потеки масла, метод камертона, визуальная и тактильная оценка и т.д.) Оценка величины износа уплотнений. ВИК, МК	Трещины на корпусе редуктора не допускаются	К-2-2-10
Вибродиагностика электродвигателей на наличие вибрации, дисбаланса, расцентровка, неудовлетворительное состояние подшипниковых опор. ВИК	Наличие вибрации не допускаются	К-24-2-10

Примечание: *ВИК – Визуальный и измерительный контроль, МК – Магнитный контроль.

В таблице 2 цифровой код расшифровывается следующим образом Z-XX₁-X₂-XX₃: Z – контроль технического состояния (К); технологическое обслуживание (Т); поддержание уровня готовности и восстановление работоспособности (П), XX₁ – порядковый номер элемента или системы в спецификации изделия, X₂ – наличие отказа и повреждения, 1 – не обнаружен отказ, 2 – обнаружен отказ, XX₃ – код ранга оперативного вмешательства.

Для эффективной оценки рисков предусматривается соответствующее обучение персонала.

Заключение. Организация технического обслуживания и контроль весомости рисков отказов ресурсопределяющих систем карьерных экскаваторов имеют ключевое значение для обеспечения надежности оборудования в горнодобывающей отрасли. Применение метода Файна-Кинни для оценки потенциальных рисков позволяет своевременно выявлять неисправности, минимизируя вероятность и весомость внезапных отказов, что способствует повышению эксплуатационной готовности техники. Внедрение цифровых технологий для автоматизации диагностики и планирования работ по предотвращению и минимизации последствий отказов значительно повышает эффективность технического обслуживания. Представленный подход является составной частью системы добросовестного обслуживания CM&R.

Список литературы

1. Салимов А.Э., Шибанов Д.А., Иванов С.Л. Риски отказов карьерного экскаватора, связанные с его техническим обслуживанием и ремонтом // Горная промышленность. – 2024. – №2. – С. 97-102. – DOI: 10.30686/1609-9192-2024-2-97-102.
2. Великанов В.С. Прогнозирование нагруженности рабочего оборудования карьерного экскаватора по нечетко-логистической модели // Записки Горного института. – 2020. – Т. 241. – С. 29-36. – DOI: 10.31897/PMI.2020.1.29.
3. 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. – С. 144-158. – DOI: 10.25018/0236_1493_2023_111_0_144.
4. Баранникова И.В., Мажибрада И. Прогнозирование отказов одноковшовых экскаваторов на основе методов искусственного интеллекта // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2017. – № 1. – С. 37-46.
5. 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. – С. 155-160. – doi.org/10.26160/2658-3305-2023-19-155-160.
6. 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. – С. 51-58. – DOI: 10.25018/0236-1493-2017-7-0-51-57.
7. Антоненко И.Н., Кац Б.А. Анализ рисков и электронный журнал дефектов // Молочная промышленность. – 2013. – № 5. – С. 30-33.
8. Чуднова Г.А., Кислов А.С. Организация ремонтов и технического обслуживания оборудования. – М.: ООО «1С-Паблишинг», 2023. – 342 с.
9. 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(14). – С. 50-60. – DOI: 10.26730/2618-7434-2021-3-50-60.
10. Кац Б.А. Контроль процессов ТОиР: как добиться эффективности? // Управление производством. Альманах. – 2009. – №5-6. – С. 60-64. – URL: https://itm.spb.ru/files/contr_proc_toir.pdf.
11. 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. – С. 113-121.
12. Москвичев В.В., Ковалев М.А. Оценка показателей эксплуатационной надежности карьерных канатных экскаваторов // Транспортные системы и технологии. – 2020. – Т. 6, № 4. – С. 25-44. – DOI: 10.17816/transsyst20206425-44.
13. Недашковская Е.С., Шешукова Е.И., Корогодин А.С., Мякотных А.А., Шибанов Д.А., Иванов С.Л. Структура системы технического обслуживания и ремонта горных машин // Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство. – 2024. – № 25. – С. 155-162. – DOI: 10.26160/2658-3305-2024-25-155-162.
14. 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. – Т. 19, №4. – С. 5-15. – doi.org/10.18503/1995-2732-2021-19-4-5-15.
15. Курганов В.М., Грязнов М.В., Колобанов С.В. Оценка надежности функционирования экскаваторно-автомобильных комплексов в карьере // Записки Горного института. – 2020. – Т. 241. – С. 10-21. – DOI: 10.31897/PMI.2020.1.10.
16. Dagsuyu C., Oturakci M., Kokangül A. A new approach to Fine-Kinney method and an implementation study // Alphanumeric journal. 2015, vol. 3(2), pp. 83-92. DOI: 10.17093/aj.2015.3.2.5000139953.
17. Авершин А.А., Банник Н.В., Тугай В.В., Джумский А.В. Основные положения системы плановопредупредительных ремонтов в процессе эксплуатации горных машин и оборудования // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. – 2023. – №S1. – С. 187-192.

18. Дрыгин М.Ю. Анализ систем технического обслуживания и ремонта горного оборудования // Горное оборудование и электромеханика. – 2020. – №2(148). – С. 35-43. – doi.org/10.26730/1816-4528-2020-2-35-43.

References

1. Salimov A.E., Shibano D.A., Ivanov S.L. Failure risks of mine excavator associated with its maintenance and repair // Russian Mining Industry. 2024, no. 2, pp. 97-102. DOI: 10.30686/1609-9192-2024-2-97-102.
2. Velikanov V.S. Mining excavator working equipment load forecasting according to a fuzzy-logistic model // Journal of Mining Institute. 2020, vol. 241, p. 29-36. DOI: 10.31897/PMI.2020.1.29.
3. Shibano D.A., Ivanov S.L., Sheshukova E.I., Nedashkovskaya E.S. Efficiency of operation of a quarry excavator as an ergatic system // Mining information and analytical bulletin. 2023, no. 11-1, pp. 144-158. DOI: 10.25018/0236_1493_2023_111_0_144.
4. Barannikova I.V., Mazhibrada I. Forecasting failures of single-bucket excavators based on artificial intelligence methods // Mining information and analytical bulletin. 2017, no. 1, pp. 37-46.
5. Alshanskaya A.A., Doronin S.V., Tyumentsev V.A. Expert assessment of factors for increasing the reliability of mechanical equipment of quarry excavators // Transport, mining and construction engineering: science and production. 2023, no. 19, pp. 155-160. DOI: 10.26160/2658-3305-2023-19-155-160.
6. Ivanova P.V., Asonov S.A., Ivanov S.L., Kuvshinkin S.Yu. Analysis of the structure and reliability of a modern fleet of quarry excavators // Mining information and analytical bulletin. 2017, no. 7, pp. 51-58. DOI: 10.25018/0236-1493-2017-7-0-51-57.
7. Antonenko I.N., Katz B.A. Risk analysis and electronic defect log // Dairy industry. 2013, no. 5, pp. 30-33.
8. Chudnova G.A., Kislov A.S. Organization of repairs and maintenance of equipment. – M.: LLC “1C-Publishing”, 2023. – 342 p.
9. Gericke P.B., Gericke B.L., Shakhmanov V.N. Selection and justification of the criterion for diagnostics of misalignment of shafting shafts of quarry excavators // Technics and technology of mining. 2021, no. 3(14), pp. 50-60. DOI: 10.26730/2618-7434-2021-3-50-60.
10. Katz B.A. Control of maintenance and repair processes: how to achieve efficiency? // Production Management. Almanac. 2009, no. 5-6, pp. 60-64. URL: https://itm.spb.ru/files/contr_proc_toir.pdf.
11. Popov D.V., Beklemeshev V.A., Khazhiev V.A. Improvement of energy-mechanical service control over the conditions and operating modes of excavators in LLC “Vostochno-Beisky Razrez” // Mining information and analytical bulletin. 2015, no. S1-2, pp. 113-121.
12. Moskvichev V.V., Kovalev M.A. Estimation of the operational reliability indicators of the quarry rope excavators // Transport systems and technologies. 2020, vol. 6, no. 4, pp. 25-44. DOI: 10.17816/transsyst20206425-44.
13. Nedashkovskaya E.S., Sheshukova E.I., Korogodin A.S., Myakotnykh A.A., Shibano D.A., Ivanov S.L. Structure of the system of technical maintenance and repair of mining machines // Transport, mining and construction engineering: science and production. 2024, no. 25, pp. 155-162. DOI: 10.26160/2658-3305-2024-25-155-162.
14. Velikanov V. S., Musonov O.S., Panfilova O.R., Ilyina E.A., Derina N.V. Predictive analytics tools in minimization of failures of mining transport equipment // Bulletin of Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov. 2021, vol. 19, no. 4, pp. 5-15. doi.org/10.18503/1995-2732-2021-19-4-5-15.
15. Kurganov V.M., Gryaznov M.V., Kolobanov S.V. Reliability assessment of excavator-automobile complexes functioning in a quarry // Journal of Mining Institute. 2020, vol. 241, pp. 10-21. DOI: 10.31897/PMI.2020.1.10.
16. Dagsuyu C., Oturakci M., Kokangül A. A new approach to Fine-Kinney method and an implementation study // Alphanumeric journal. 2015, vol. 3(2), pp. 83-92. DOI: 10.17093/aj.2015.3.2.5000139953.
17. Avershin A.A., Bannik N.V., Tugai V.V., Dzhumskiy A.V. Basic provisions of the system of scheduled preventive maintenance during operation of mining machines and equipment // Bulletin of Vladimir Dahl Luhansk State University. 2023, no. S1, pp. 187-192.
18. Drygin M.Yu. Analysis of systems for maintenance and repair of mining equipment // Mining equipment and electromechanics. 2020, no. 2(148), pp. 35-43. doi.org/10.26730/1816-4528-2020-2-35-43.

Сведения об авторах:

Information about authors:

Салимов Аббос Эркин угли – аспирант	Salimov Abbos Erkin ugli – postgraduate student
Шешукова Екатерина Игоревна – аспирант	Sheshukova Ekaterina Igorevna – postgraduate student
Шибанов Даниил Александрович – кандидат технических наук, доцент кафедры машиностроения	Shibano Daniil Alexandrovich – candidate of technical sciences, associate professor of the Department of mechanical engineering
Иванов Сергей Леонидович – доктор технических наук, профессор кафедры машиностроения	Ivanov Sergey Leonidovich – doctor of technical sciences, professor of the Department of mechanical engineering
salimoff.abbas@gmail.com	

Получена 24.11.2024