

УДК 622.271.4:629.7.063.7

**Колпаков Владимир Олегович**

аспирант кафедры машиностроения,  
Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II,  
г. Санкт-Петербург,  
21 линия Васильевского острова, 2-4/45

**Шибанов Даниил Александрович**

кандидат технических наук,  
доцент кафедры машиностроения,  
Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II

**Хамидов Ойбек Угли**

аспирант кафедры машиностроения,  
Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II

**ЗАВИСИМОСТЬ ГОТОВНОСТИ  
КАРЬЕРНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ  
ЭКСКАВАТОРОВ ОТ  
РАБОТОСПОСОБНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ  
АВТОМАТИЧЕСКИХ  
ЦЕНТРАЛИЗОВАННЫХ СИСТЕМ СМАЗКИ**

*Аннотация.*

*В статье представлены результаты исследования влияния эффективности автоматических централизованных систем смазки (АЦСС) на надежность карьерных электрических экскаваторов большой единичной мощности, эксплуатируемых в тяжелых условиях железорудных карьеров. Обоснована актуальность оптимизации работы систем смазки для обеспечения безотказности и снижения эксплуатационных затрат. Существующие регламенты технического обслуживания систем смазки, основанные на эмпирическом опыте, не адаптированы к реальным условиям эксплуатации, что приводит к нерациональному планированию обслуживания и увеличению интенсивности аварийных отказов. Проведен статистический анализ простоев и отказов, акцентированный на узлах седлового подшипника. Установлена прямая корреляция между неработоспособностью АЦСС и частотой аварийных отказов. На основе выявленных тенденций разработана структура дифференцированного регламента технического обслуживания и ремонта (ТОиР) АЦСС, интегрируемого в систему планово-предупредительного обслуживания парка горных машин. Данные проиллюстрированы таблицами и диаграммами, показывающими влияние состояния АЦСС на общее время простоев машины. Предложен переход к системе планово-предупредительного обслуживания с мониторингом состояния узлов автоматических централизованных систем смазки в реальном времени.*

*Ключевые слова:* электрический карьерный экскаватор, автоматическая централизованная система смазки, аварийные отказы, рабочее оборудование, техническое обслуживание и ремонт, надежность.

DOI: 10.25635/2313-1586.2026.01.039

**Kolpakov Vladimir O.**

Postgraduate student,  
of Mechanical Engineering,  
Empress Catherine II Saint Petersburg  
Mining University,  
St. Petersburg, 21 Vasilyevsky Island line, 2-4/45

**Shibanov Daniil A.**

Candidate of Technical Sciences,  
Associate Professor,  
Chair of Mechanical Engineering,  
Empress Catherine II Saint Petersburg  
Mining University

**Khamidov Oibek U.**

Postgraduate student of Mechanical Engineering,  
Empress Catherine II Saint Petersburg  
Mining University

**INFLUENCE OF AUTOMATIC  
CENTRALIZED LUBRICATION SYSTEMS  
READINESS ON THE RELIABILITY  
OF CRITICAL COMPONENTS IN WORKING  
EQUIPMENT OF ELECTRIC EXCAVATOR**

*Abstract:*

*This article presents the results of a study on the impact of automatic centralized lubrication systems (ACLS) performance on the reliability of high-capacity electric mining excavators operating under severe conditions in iron ore open pits. The study substantiated the relevance of optimizing lubrication system operation to ensure reliability and reduce operational costs. Existing maintenance schedules for lubrication systems, based on empirical experience, are not adapted to real-world operating conditions, leading to inefficient maintenance planning and an increased rate of emergency failures. We have conducted the statistical analysis of downtime and failures, focusing on the saddle bearing assembly. A direct correlation was established between ACLS malfunction and the frequency of emergency failures. Based on the identified trends, a structure for a differentiated ACLS maintenance and repair (M&R) regulation has been developed for integration into a scheduled preventive maintenance system for the fleet of mining equipment. The data are illustrated with tables and charts demonstrating the impact of the ACLS condition on overall machine downtime. The paper proposes a transition to a scheduled preventive maintenance system with real-time condition monitoring of automatic centralized lubrication system components.*

*Key words:* electric mining excavator, automatic lubrication system, centralized lubrication system, emergency failures, working equipment, maintenance and repair, regulation, reliability.

### *Введение*

Эксплуатация электрических карьерных экскаваторов с объемом ковша 18 и 20 м<sup>3</sup> в тяжелых условиях эксплуатации приводит к интенсивному расходованию ресурса узлов [1, 2], реализованных парами трения. В этих условиях эффективность смазывания становится ключевым фактором, определяющим безотказность работы экскаватора. Полученные зависимости показывают, что нерациональная организация технического обслуживания (ТО) систем смазки является одной из основных причин возникновения аварийных отказов и высоких эксплуатационных затрат [3 – 5].

Анализ руководства по эксплуатации подтвердил отсутствие четких методик корректировки режимов смазывания в зависимости от эксплуатационных условий работы: горно-геологических характеристик пород, нагрузок и гранулометрического состава горной массы. Существующая практика определения объемов и интервалов подачи смазки, основанная на эмпирическом опыте и визуальной оценке, не обеспечивает требуемой эффективности процесса смазывания. Установленная прямая корреляция между состоянием автоматической централизованной системы смазки (АЦСС) и интенсивностью аварийных отказов горных машин доказывает, что некорректная работа или отказ элементов АЦСС являются одними из ключевых причин, сокращающих эксплуатационную производительность и увеличивающих общие эксплуатационные затраты [6, 7].

Целью настоящего исследования является повышение безотказности карьерных экскаваторов типа ЭКГ путем разработки и внедрения оптимизированной системы технического обслуживания и ремонта (ТОиР) автоматических централизованных систем смазки. На основе комплексного анализа эксплуатационных данных и выявленных закономерностей предлагается переход от обслуживания по факту отказа к системе планово-предупредительного ТО систем АЦСС, основанной на структурированном регламенте [8, 9]. Данный регламент позволит формализовать полный цикл работ по обслуживанию АЦСС, синхронизировать его с общим графиком ТОиР экскаватора и установить обоснованные нормативы, что позволит минимизировать внеплановые простои, увеличить межремонтные интервалы и снизить совокупную стоимость владения электрическим карьерным экскаватором [10, 11].

### *Методы и материалы*

В основу исследования лег анализ статистических данных эксплуатации парка экскаваторов ЭКГ-20 за период 2024 – 2025 гг. на железорудном месторождении. Была сформирована репрезентативная выборка отказов, отражающая их характер и структуру. Основными причинами простоев, как показал анализ, являются аварийные механические отказы, доля которых составляет 87 – 93 %. Пример статистических данных представлен в табл. 1. Анализ проводился с акцентом на отказы, связанные с элементами седлового подшипника, классифицируемого как ресурсопределяющий узел. На основе статистических данных построены диаграммы соотношения количества отказов и времени простоев по основным группам узлов экскаваторов (рис. 1). На узлы седлового подшипника приходится 21 % по количеству отказов и 31 % по суммарному времени ремонта, что подтверждает их критическую важность.

Акцент при проведении анализа статистических данных был сделан на отказы элементов седлового подшипника, который позиционируется как ресурсопределяющий узел рабочего оборудования карьерного экскаватора. Работоспособное состояние данного узла является критическим фактором, детерминирующим общую работоспособность экскаватора. Для наглядной визуализации вклада различных узлов в общие потери времени и структуру отказов на основе обработанных статистических данных была построена диаграмма (см. рис. 1).

Таблица 1

Статистические данные аварийных простоев (составлено автором)

Типы машины	Тип оборудования	Начало простоя	Конец простоя	Наименование простоя	Длительность простоя, ч	Вид простоя
Экскаватор	ЭКГ-20	01.09.25 1:13:00	01.09.25 1:31:00	Механизм напора	0,3	Аварийный механический
Экскаватор	ЭКГ-20	19.08.25 21:37:00	19.08.25 23:37:00	Стрела, седловой подшипник	2	Аварийный механический
Экскаватор	ЭКГ-20	19.08.25 11:23:00	19.08.25 15:17:00	Двигатель хода	3,9	Аварийный механический
Экскаватор	ЭКГ-20	18.08.25 14:58:00	18.08.25 15:41:00	Стрела, седловой подшипник	0,7	Аварийный механический
Экскаватор	ЭКГ-20	18.08.25 14:00:00	18.08.25 14:58:00	Механизм подъема	0,96	Аварийный механический
Экскаватор	ЭКГ-20	16.08.25 16:00:00	16.08.25 17:40:00	Цепь МОДК	1,66	Аварийный механический
Экскаватор	ЭКГ-20	16.08.25 10:34:00	16.08.25 12:50:00	Пневмосистема	1,26	Аварийный механический

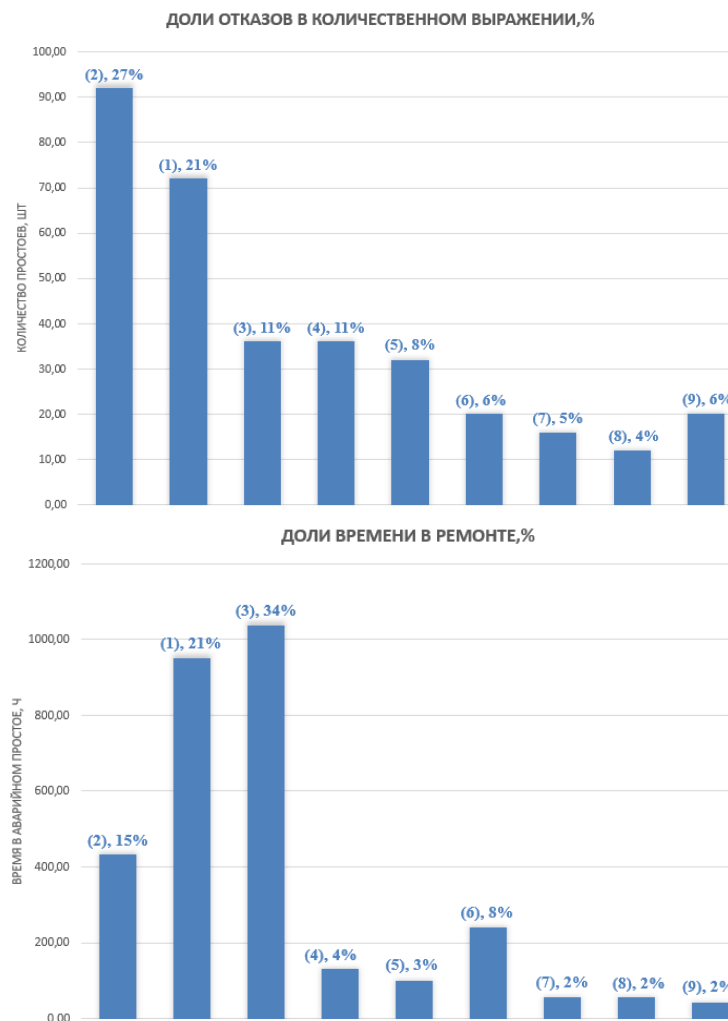


Рис. 1. Доли времени в ремонте и доли времени по отказам машин с объемом ковша 20 м<sup>3</sup> за период 2024 – 2025 гг.

(1 – узлы седлового подшипника; 2 – подвеска ковша;  
 3 – опорно-поворотное устройство; 4 – замена тросика ОДК; 5 – прочие пары трения;  
 6 – механизм подъема; 7 – механизм напора; 8 – пневмосистема; 9 – прочее (составлено автором)

В результате комплексного анализа данных систем мониторинга за 2024–2025 гг., аварийные отказы были классифицированы по ключевым узлам машины. Особое внимание уделялось элементам рабочего оборудования и узлам, сформированным парами трения, в число которых вошли седловой подшипник, подвеска ковша, опорно-поворотное устройство (ОПУ), механизм открывания днища ковша (МОДК), а также опорно-поворотный круг, механизмы подъема и напора, пневмосистема и прочие сопряжения.

Анализ статистических данных показал, что по частоте возникновения инцидентов лидирует узел подвески ковша. Это закономерно, поскольку данный элемент воспринимает прямые ударные нагрузки в момент внедрения ковша в забой. Одним из существенных факторов, усугубляющих износ подвески, является неидеальное состояние забоя после буровзрывных работ, приводящее к локальному превышению допустимых нагрузок и ускоренному расходованию ресурса [12].

В то же время по совокупной продолжительности вынужденных простоев абсолютным лидером является опорно-поворотное устройство. Первое место по этому показателю объясняется исключительной сложностью и высокой трудоемкостью его ремонтно-восстановительных работ [13].

Узлы седлового подшипника демонстрируют сбалансированно высокую значимость по обоим критериям: на их долю приходится 21 % от общего количества отказов и 31 % от суммарного времени ремонта. Данное соотношение в общем ранжировании по отказам подтверждает, что данный узел имеет статус критического ресурсопределяющего элемента, чье состояние напрямую влияет на общую работоспособность экскаватора и его эксплуатационную производительность.

### Результаты

Проведено исследование состояния систем АЦСС на горных машинах исходя из дефектных ведомостей и общего времени простоев в часах. Тенденция указывает на то, что состояние АЦСС, как и смазывание узлов карьерного экскаватора, напрямую или косвенно влияет на количество и продолжительность простоев его узлов. С увеличением доли неработоспособных элементов смазочной системы наблюдается статистически значимый рост количества аварийных отказов и времени в простое карьерного экскаватора (рис. 2).

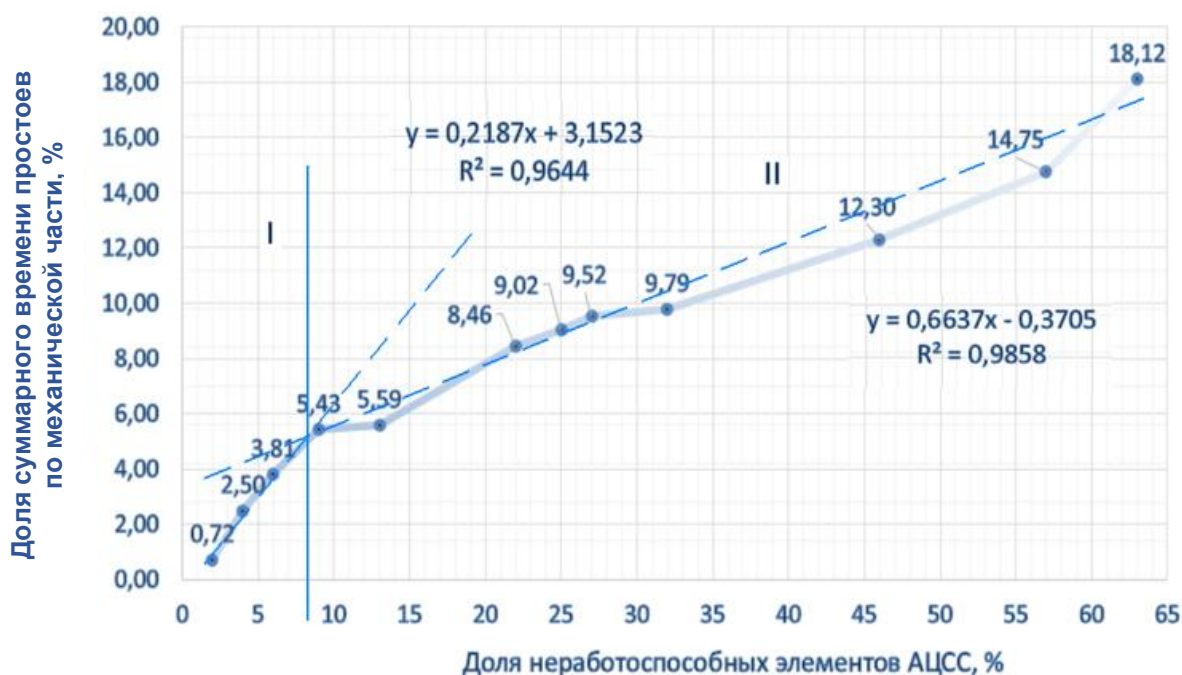


Рис. 2. Изменение доли суммарного времени простоев карьерных экскаваторов от доли неработоспособных элементов АЦСС за период 2024 – 2025 гг. (составлено автором)

Выявленная зависимость является подтверждением тезиса о том, что в тяжелых условиях эксплуатации железорудных месторождений отклонения от требуемого графика проведения ТОиР систем АЦСС или дозировки подачи смазочного материала ведут к увеличению времени аварийных простоев машины по причине увеличения интенсивности расходования ресурса основных ресурсопределяющих узлов рабочего оборудования.

Выявленная прямая корреляционная зависимость между работоспособным состоянием АЦСС и интенсивностью аварийных отказов экскаватора (см. рис. 2) обусловила необходимость перехода от обслуживания по факту отказа к регламентированному подходу. Статистика показывает, что даже незначительная доля (2 %) неработоспособных элементов АЦСС в начальном диапазоне (0 – 10 %) приводит к практически двухкратному росту времени в простоях. Для систематизации и повышения эффективности работ по поддержанию АЦСС в работоспособном состоянии был разработан регламент ТОиР, согласованный регламентом ТОиР электрических карьерных экскаваторов. Данный регламент структурирует все операции, привязывает их к видам ТОиР экскаватора (ЕО, ТО1, ТО2, ППР, КР) и устанавливает обоснованные временные нормативы, позволяя интегрировать обслуживание смазочной системы в общую систему планово-предупредительного обслуживания. Регламент построен по иерархическому принципу и охватывает полный цикл работ, сгруппированных по функциональным блокам системы. Общий осмотр и диагностика включают ежедневный и периодический визуальный контроль целостности магистралей, соединений, состояния сигнальных устройств. ТО блока управления и кабельной сети предусматривает проверку крепления, целостности, чистоты и работоспособности контроллера, реле, индикаторов, кабелей. ТО заправочного комплекса детально регламентирует обслуживание блока подготовки воздуха, заправочного насоса, смазочного фильтра (контроль давления, уровня смазки, герметичности, необходимость промывки). ТО основной системы смазки горной машины является наиболее ответственным блоком, включающим обслуживание основного насоса (DU1), проверку и регулировку дозирующих распределителей, контроль маслопроводной сети на отсутствие течей и повреждений, а также обязательную функциональную проверку подачи смазки к наиболее удаленным точкам. Завершающие и ремонтные работы включают операции по переводу в автоматический режим, а также перечень планово-предупредительных (ППР: замена фильтров, уплотнений) и капитальных (КР: ремонт насосов, замена блока управления, промывка распределителей) работ с установленными нормами времени и составом звена. Ключевыми частями регламента являются дифференциация по видам ТО для оптимального планирования, нормирование труда (нормо-час, состав звена), комплексность покрытия всех компонентов АЦСС и адаптивность как базы для дальнейшей оптимизации на основе данных мониторинга и испытаний [14, 15].

#### *Заключение*

На основании проведенного анализа эксплуатационных данных и сопоставления регламентированных и фактических режимов смазывания карьерных электрических экскаваторов сформулированы следующие основные выводы. Установлена и статистически подтверждена прямая корреляционная зависимость между состоянием АЦСС и интенсивностью возникновения аварийных отказов, в частности узлов седлового подшипника. В качестве практического инструмента для устранения выявленных проблем и перехода к планово-предупредительной системе обслуживания разработана и представлена структура дифференцированного регламента ТОиР АЦСС. Регламент формализует полный цикл работ, обеспечивает нормирование и планирование, и предназначен для интеграции в общий график ТОиР экскаватора. Для дальнейшего повышения эффективности необходима разработка окончательных оптимизированных режимов смазывания на основе предлагаемой методологии, включающей натурные наблюдения, стендовые и ускоренные испытания пар трения. Внедрение предложенного подхода, интегрированного в си-

стему планово-предупредительного технического обслуживания с мониторингом состояния в реальном времени позволит минимизировать перерасход смазочных материалов, сократить внеплановые простои, увеличить межремонтные интервалы и снизить совокупные эксплуатационные затраты, подтверждая, что оптимизация работы систем АЦСС и их обслуживания является действенным инструментом повышения эксплуатационной надежности и экономической эффективности карьерных экскаваторов.

### Список литературы

1. Валиев Н.Г., Разоренов Ю.И., Голик В.И., Лебзин М.С., 2024. Комбинирование технологий выщелачивания с традиционными технологиями горного передела руд. *Горный информационно-аналитический бюллетень*, № 4, С. 33-43. DOI 10.25018/0236\_1493\_2024\_4\_0\_33.
2. Кузнецов Д.В., Косолапов А.И., 2022. Методология обоснования горнотранспортного оборудования для рудных карьеров. *Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова*, Т. 20, № 3, С. 54-63. DOI: 10.18503/1995-2732-2022-20-3-54-63.
3. Knyazkina V.I., Ivanov S., 2022. Improvement of the system of maintenance and repair of mining machines according to the actual state. *Mining Informational and Analytical Bulletin*, V. 6-2, P. 223-236. [https://doi.org/10.25018/0236\\_1493\\_2022\\_62\\_0\\_223](https://doi.org/10.25018/0236_1493_2022_62_0_223).
4. Kazakov Y.A., Kozachkov G.S., 2025. Technological requirements for the processing of excavated organic raw material. *Mining Informational and Analytical Bulletin*, 12, P. 85-99. DOI:10.25018/0236\_1493\_2025\_123\_0\_85
5. Агагена Абдельвахаб, Репкина К.С., Михайлов А.В., 2024. Корректировка регламента технического обслуживания карьерного гидравлического экскаватора на руднике Бухадра. *Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство*, № 24, С. 146–151. DOI: 10.26160/2658-3305-2024-24-146-151
6. Колпаков В.О., Шибанов Д.А., Селезнев М.С., Хамидов О.У., 2025. Анализ функционирования систем централизованного смазывания узлов карьерных экскаваторов. *ТГуСМ НуП*, № 34, С. 122. DOI: 10.26160/2658-3305-2025-34-122-128
7. Иванов С.Л., Дудко П.П., Дмитриев Г.Ю., Подхалюзин С.П., 2008. Автоматические централизованные системы смазки. Опыт применения, проблемы и перспективы использования. *Записки Горного института*, Т. 178, С. 22-26.
8. Хамидов О.У., Шибанов Д.А., 2025. Техническое обслуживание и ремонт карьерных экскаваторов по регламенту с учетом фактических условий и режимов их эксплуатации. *Горный информационно-аналитический бюллетень*, № 12-3, С. 152–167. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2025\_123\_0\_152.
9. Ковалев М.А., Москвичев В.В., 2024. Надежность карьерных экскаваторов на угольных разрезах Кузбасса. *Целостность и ресурс в экстремальных условиях*, № 1, С. 300–303. DOI: 10.24412/c1-37269-2024-1-300-303
10. Курганов В.М., Грязнов М.В., Колобанов С.В., 2020. Оценка надежности функционирования экскаваторно-автомобильных комплексов в карьере. *Записки Горного института*, Т. 241, С. 10–21. DOI: 10.31897/PMI.2020.1.10
11. Грабский А.А., Сергеев В.Ю., Грабская Е.П., 2021. Обоснование выбора стратегии технического обслуживания и ремонтов карьерных экскаваторов. *Уголь*, № 2, С. 14–17. DOI: 10.18796/0041-5790-2021-2-14-17
12. Сурина Н.В., Мнацаканян В.У., 2019. Система автоматизированного проектирования технологических процессов при ремонте горной техники. *Горный журнал*, № 7, С. 90–95.
13. Шешукова Е.И., Шибанов Д.А., Иванов С.Л., Недашковская Е.С., 2024. Оценка нагрузок приводов рабочего оборудования карьерного экскаватора (часть 1). *Горная промышленность*, № 3, С. 143–148. DOI:10.30686/1609-9192-2024-3-143-148

14. Khalimonenko A.D., Admakina O.N., KufaeV V.G., Shmakova Y.R., 2024. HIGH-SPEED FACE MILLING FEATURES OF DEFORMABLE ALUMINUM ALLOYS. *Tsvetnye Metally*, 6, 81-88. DOI:10.17580/tsm.2024.06.10

15. Kuvshinkin S., Ivanova P., 2021. Impact analysis of bucket capacity and boom length of mining excavators on hoisting mechanism life. *E3S. Web of Conferences*, 326, Article 00032. DOI:10.1051/e3sconf/202132600032

### References

1. Valiev N.G., Razorenov Yu.I., Golik V.I., Lebzin M.S., 2024. Kombinirovanie tekhnologii vyshchelachivaniya s traditsionnymi tekhnologiyami gornogo peredela rud [Combination of leaching technologies with traditional mining technologies]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*, № 4, P. 33-43. DOI 10.25018/0236\_1493\_2024\_4\_0\_33.

2. Kuznetsov D.V., Kosolapov A.I., 2022. Metodologiya obosnovaniya gorno-transportnogo oborudovaniya dlya rudnykh kar'erov [Methodology of substantiation of mining and transportation equipment for ore pits]. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova*, Vol. 20, № 3, P. 54-63. DOI: 10.18503/1995-2732-2022-20-3-54-63.

3. Knyazkina V.I., Ivanov S., 2022. Improvement of the system of maintenance and repair of mining machines according to the actual state. *Mining Informational and Analytical Bulletin*, V. 6-2, P. 223-236. [https://doi.org/10.25018/0236\\_1493\\_2022\\_62\\_0\\_223](https://doi.org/10.25018/0236_1493_2022_62_0_223).

4. Kazakov Y.A., Kozachkov G.S., 2025. Technological requirements for the processing of excavated organic raw material. *Mining Informational and Analytical Bulletin*, 12, P. 85-99. DOI:10.25018/0236\_1493\_2025\_123\_0\_85

5. Agagena Abdel'vakhab, Repkina K.S., Mikhailov A.V., 2024. Korrektyrovka reglamenta tekhnicheskogo obsluzhivaniya kar'ernogo gidravlicheskogo ekskavatora na rudnike Bukhadra [Correction of the maintenance regulations for a quarry hydraulic excavator at the Bukhadra mine]. *Transportnoe, gornoe i stroitel'noe mashinostroenie: nauka i proizvodstvo*, № 24, P. 146–151. DOI: 10.26160/2658-3305-2024-24–146–151

6. Kolpakov V.O., Shibanov D.A., Seleznev M.S., Khamidov O.U., 2025. Analiz funktsionirovaniya sistem tsentralizovannogo smazyvaniya uzlov kar'ernykh ekskavatorov [Analysis of the functioning of centralized lubrication systems for mining excavators]. *TGiSM NiP*, № 34, P. 122. DOI: 10.26160/2658-3305-2025-34-122-128

7. Ivanov S.L., Dudko P.P., Dmitriev G.Yu., Podkhalyuzin S.P., 2008. Avtomaticheskie tsentralizovannyye sistemy smazki [Automatic centralized lubrication systems. Application experience, problems and prospects of use]. *Opyt primeneniya, problemy i perspektivy ispol'zovaniya. Zapiski Gornogo instituta*, Vol. 178, P. 22-26.

8. Khamidov O.U., Shibanov D.A., 2025. Tekhnicheskoe obsluzhivanie i remont kar'ernykh ekskavatorov po reglamentu s uchetom fakticheskikh uslovii i rezhimov ikh ekspluatatsii [Maintenance and repair of quarry excavators according to the regulations, taking into account the actual conditions and modes of their operation]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*, № 12-3, P. 152–167. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2025\_123\_0\_152.

9. Kovalev M.A., Moskvichev V.V., 2024. Nadezhnost' kar'ernykh ekskavatorov na ugol'nykh razrezakh Kuzbassa [Reliability of quarry excavators at Kuzbass coal mines]. *Tselostnost' i resurs v ekstremal'nykh usloviyakh*, № 1, P. 300–303. DOI: 10.24412/cl-37269–2024–1-300–303

10. Kurganov V.M., Gryaznov M.V., Kolobanov S.V., 2020. Otsenka nadezhnosti funktsionirovaniya ekskavatorno-avtomobil'nykh kompleksov v kar'ere [Assessment of the reliability of excavator-automobile complexes in the quarry]. *Zapiski Gornogo instituta*, Vol. 241, P. 10–21. DOI: 10.31897/PMI.2020.1.10

11. Grabskii A.A., Sergeev V.Yu., Grabskaya E.P., 2021. Obosnovanie vybora strategiitekhnicheskogo obsluzhivaniya i remontov kar'ernykh ekskavatorov [Justification of the choice of a strategy for technical maintenance and repairs of quarry excavators]. *Ugol'*, № 2, P. 14–17. DOI: 10.18796/0041-5790-2021-2-14–17.

12. Surina N.V., Mnatsakanyan V.U., 2019. Sistema avtomatizirovannogo proektirovaniya tekhnologicheskikh protsessov pri remonte gornoj tekhniki [The system of automated design of technological processes in the repair of mining equipment]. *Gornyi zhurnal*, № 7, P. 90–95.

13. Sheshukova E.I., Shibanov D.A., Ivanov S.L., Nedashkovskaya E.S., 2024. Otsenka nagruzok privodov rabocheho oborudovaniya kar'ernogo ekskavatora (chast' 1) [Assessment of drive loads of working equipment of a quarry excavator (part 1)]. *Gornaya promyshlennost'*, № 3, P. 143–148. DOI:10.30686/1609-9192-2024-3-143-148.

14. Khalimonenko A.D., Admakina O.N., KufaeV V.G., Shmakova Y.R., 2024. HIGH-SPEED FACE MILLING FEATURES OF DEFORMABLE ALUMINUM ALLOYS. *Tsvetnye Metally*, 6, 81-88. DOI:10.17580/tsm.2024.06.10.

15. Kuvshinkin S., Ivanova P., 2021. Impact analysis of bucket capacity and boom length of mining excavators on hoisting mechanism life. *E3S. Web of Conferences*, 326, Article 00032. DOI:10.1051/e3sconf/202132600032.