

Влияние эффективности работы систем автоматической централизованной смазки на интенсивность отказов электрических карьерных экскаваторов

В.О. Колпаков¹✉, Д.А. Шибанов¹, М.С. Селезнёв²

¹ Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

² ООО «ТЕХПАРТНЕР», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

✉ kolpakoffon@yandex.ru

Резюме: В статье представлены результаты исследования влияния технического состояния автоматических централизованных систем смазывания (АЦСС) на показатели надежности карьерных электрических экскаваторов, эксплуатирующихся в тяжелых условиях железорудных карьеров. На основе анализа статистических данных по 12 экскаваторам с объемом ковша 20 м³ за период 2024–2025 гг. выявлены основные ресурсопределяющие узлы: седловой подшипник, подвеска ковша и опорно-поворотное устройство, на долю которых приходится до 80% аварийных простоев. Установлено, что отказ элементов АЦСС, в частности прогрессивных распределителей, приводит к прекращению подачи смазки к парам трения и росту интенсивности отказов. С использованием коэффициента ранговой корреляции Спирмена ($\rho = 0,82$) доказана устойчивая связь между долей неработоспособных элементов системы смазки и временем аварийных ремонтов. Эмпирические данные аппроксимированы линейной и экспоненциальной моделями, позволяющими прогнозировать рост простоев при снижении работоспособности АЦСС. Предложен критерий оценки экономической эффективности АЦСС, учитывающий стоимость простоя, смазочных материалов и трудозатрат на обслуживание. Сделан вывод о необходимости перехода от обслуживания АЦСС «по факту отказа» к предиктивной стратегии на основе дифференцированных регламентов и внедрения IoT-мониторинга давления и расхода. Практическая значимость работы заключается в обосновании мероприятий, направленных на снижение эксплуатационных затрат и увеличение межремонтных интервалов карьерных экскаваторов.

Ключевые слова: электрический карьерный экскаватор, автоматическая система смазки, аварийные отказы, рабочее оборудование, система смазки, смазывание узлов, седловой подшипник

Благодарности: Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации FSRW20260003 «Исследование процессов комплексного освоения недр Земли и глубокой переработки георесурсов»; при поддержке и консультации ООО «ТЕХПАРТНЕР» (г. Санкт-Петербург, <https://techpartner.ru>).

Для цитирования: Колпаков В.О., Шибанов Д.А., Селезнёв М.С. Влияние эффективности работы систем автоматической централизованной смазки на интенсивность отказов электрических карьерных экскаваторов. *Горная промышленность*. 2026;(4S):33–39. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2026-4S-33-39>

Impact of the automatic central lubrication system performance on the failure rate of electric mining excavators

V.O. Kolpakov¹✉, D.A. Shibarov¹, M.S. Seleznev²

¹ Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University, Saint Petersburg, Russian Federation

² TECHPARTNER LLC, Saint Petersburg, Russia Federation

✉ kolpakoffon@yandex.ru

Abstract: The article presents the results of studying the effects of the technical condition of automatic central lubrication systems (ACLS) on the reliability indicators of electric mining excavators operated in severe conditions of iron ore open-pit mines. Based on analyzing statistical data from 12 excavators with the bucket capacity of 20 m³ for the period 2024–2025, the following key resource-defining components were identified: the saddle bearing, bucket linkage, and slewing ring, accounting for up to 80% of emergency downtime. It was established that failures of the ACLS elements, particularly progressive distributors, lead to interruptions in the lubricant supply to the friction pairs and an increase in the failure intensity. A stable relationship between the proportion of the failed lubrication system components and the emergency repair time was proven using the Spearman's



rank correlation coefficient ($\rho = 0.82$). The empirical data were approximated using linear and exponential models that enable prediction of downtime increase as the ACLS operational integrity decreases. A criterion is proposed for evaluating the economic efficiency of the ACLS with account of the costs of downtime, lubricants, and maintenance labor. The study makes a conclusion on the need to shift from the run-to-failure ACLS maintenance to a predictive maintenance strategy based on differentiated schedules and implementation of IoT-based pressure and flow rate monitoring. The practical significance lies in justifying measures to reduce operational costs and extend the overhaul intervals of the mining excavators.

Keywords: electric mining excavator, automatic lubrication system, emergency failures, working equipment, lubrication system, component lubrication, saddle bearing

Acknowledgements: The study was carried out within the framework of the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation FSRW-2026-0003 "Study of the processes of integrated development of the Earth's interior and deep processing of geological resources"; with the support and consultations of the TECHPARTNER LLC (St. Petersburg, <https://techpartner.ru>).

For citation: Kolpakov V.O., Shibano D.A., Seleznev M.S. Impact of the automatic central lubrication system performance on the failure rate of electric mining excavators. *Russian Mining Industry*. 2026;(4S):33–39. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2026-4S-33-39>

Введение

Карьерные экскаваторы занимают ключевое место в технологии добычи полезного ископаемого открытым способом [1–3], в том числе на карьерах с неустойчивыми уступами (торф, песок) [4–6]. Особая значимость для обеспечения безотказности работы узлов экскаватора отводится эффективности смазывания пар трения. Все современные машины, применяемые для реализации геотехнологии открытых горных работ [7; 8]: электрические и гидравлические карьерные экскаваторы, самосвалы, дробильно-размольное оборудование, погрузчики, буровые станки и прочие, оснащены автоматическими централизованными системами смазки (АЦСС), широкий спектр их применения и постоянное развитие систем описывается в работах [9; 10], в том числе уделяется особое внимание эффективности применения централизованных систем по критерию срока службы узлов горных машин. Существует ряд исследований эффективности смазочных материалов, применяемых в системах АЦСС [11–13]. На эффективность смазки оказывают влияние конструкция узла, качество смазочного материала, параметры смазывания, качество поверхности сопрягаемых деталей, в том числе шероховатость, микрорельеф контактной поверхности, что напрямую обуславливается технологией и точностью обработки сопрягаемых элементов при изготовлении [14–16]. Однако вопрос прямого или косвенного влияния технического состояния АЦСС на интенсивность и критичность отказов узлов карьерных экскаваторов по причине нерационального смазывания пар трения остается недостаточно раскрытым. Наиболее тяжелые условия эксплуатации карьерных экскаваторов характерны для железорудных карьеров [17–19]. Влияние основных факторов на эффективность эксплуатации карьерных экскаваторов целесообразно проводить на основе анализа статистических данных по простоям машины, возникающих в процессе экскавации горной массы, представленной блочной технологией [20–22].

Отмечается, что в настоящее время несмотря на то, что техническое обслуживание экскаватора проводится по предупредительной стратегии, системы централизованной смазки обслуживаются по факту отказа. Целью данной работы является оценка эффективности работы АЦСС и ее влияния на интенсивность и критичность отказов карьерных экскаваторов. Отмечается, что проведение такого анализа невозможно без детальной проработки особенностей работы и конструкций элементов систем смазки.

Практическая реализация подачи рационального объема смазочного материала к каждой точке смазки является первостепенной научной и инженерной задачей, решение которой заложено в реализации гидравлической схемы системы смазывания. Ключевыми элементами этой схемы являются гидравлические распределители, тип и настройка которых определяет конечный объем смазочного материала, подаваемого к паре трения за цикл. Задачей исследования является определение зависимости влияния технического состояния системы автоматической централизованной смазки на интенсивность и критичность отказов ресурсопределяющих узлов карьерного экскаватора.

Материалы и методы

Для установления причинно-следственных связей между техническим состоянием системы смазывания и показателями надежности узлов карьерного экскаватора проведен анализ отказов его узлов, что позволило получить эмпирические зависимости без нарушения производственного процесса и существенных экономических затрат. Статистические данные проанализированы по 12 электрическим карьерным экскаваторам с объемом ковша 20 м³, эксплуатирующихся в условиях железорудного карьера, за период 2024–2025 гг. Влияние уровня готовности систем смазки на надежность машины выявлено на основе сопоставления работоспособности систем смазывания и интенсивности и критичности отказов экскаваторов. Из анализа были исключены отказы ковша и его элементов, так как основные причины их возникновения: качество подготовки горной массы, несвоевременное техническое обслуживание и ремонт (ТОиР) и эргономический фактор управления.

Для оценки корреляционной связи между долей неработоспособных элементов АЦСС X , %, и временем простоев Y , ч, применен коэффициент ранговой корреляции Спирмена ρ , устойчивый к выбросам. Значимость проверена по t -критерию Стьюдента при $p < 0,05$. Регрессионный анализ проведен методом наименьших квадратов (МНК) с построением экспоненциальной и линейной аппроксимаций. Обработка данных выполнена с использованием методов цифрового анализа в Microsoft Excel 365 (Analysis ToolPak), STATISTICA 13.3 и MATLAB R2023b. Конструктивные особенности системы автоматического смазывания каждой отдельной модели экскаватора выявлены на основе анализа конструкторской документации, в том числе

ремонтной и эксплуатационной, на электрические карьерные экскаваторы с объемом ковша 15–35 м³ и реализованных на горных машинах принципиальных гидравлических схем систем АЦСС.

Результаты

На основании данных систем мониторинга эксплуатационных показателей карьерных экскаваторов за 2024–2025 гг. был проведен комплексный анализ аварийных отказов, классифицированных по ключевым узлам машины. На основе анализа статистики отказов основными простоями карьерных экскаваторов являются аварийные механические отказы, доля которых составляет порядка 90%. К числу анализируемых были отнесены узлы седлового подшипника, подвески ковша, опорно-поворотного устройства, механизма открывания днища ковша, а также прочие пары трения, включая опорно-поворотный круг, механизмы подъема и напора, пневмосистему и иные узлы.

По интенсивности отказов доля, приходящаяся на подвеску ковша, составляет 27%. Одной из причин повышенной интенсивности отказов элементов подвески ковша может являться неудовлетворительное качество подготовки забоя [23; 24]. В то же время по суммарному времени простоев наибольшая доля приходится на опорно-поворотное устройство, что объясняется трудоемкостью ремонта [25–27]. На узлы седлового подшипника приходится 21% по количеству отказов и 31% по суммарному времени ремонта. В ранжировании отказов узлы седлового подшипника находятся на втором месте. При этом седловой подшипник является ресурсопределяющим узлом, непосредственно влияющим на общую работоспособность экскаватора и эксплуатационную производительность [28–30].

Проведен технический аудит оценки фактического технического состояния парка экскаваторов с целью выявления причин отказов, зависящих от работоспособности систем АЦСС. В рамках аудита сопоставлено фактическое техническое состояние системы смазывания со статистикой аварийных отказов экскаваторов. По результатам разработан перечень типичных дефектов, характерных для систем смазывания карьерных экскаваторов, работающих в тяжелых условиях эксплуатации. Наиболее критичным дефектом является отсутствие смазочного материала в узлах трения, например, в опорном ролике седлового подшипника [31–33]. Наиболее часто проявляющиеся дефекты: течь в трубных соединениях, выработка ресурса насосных элементов, манометров, реверсивных механизмов, трубопроводов. Каждый из этих дефектов вносит свой вклад в снижение работоспособности системы АЦСС и экскаватора в целом, а время, необходимое на восстановление работоспособного состояния элементов системы смазывания, увеличивает суммарное время простоев машины на ТОиР.

Параллельный анализ состояния элементов АЦСС и статистики отказов узлов экскаватора за 10 мес 2025 г. позволил установить качественную и количественную связь между ними. При неработоспособном состоянии элементов АЦСС седлового подшипника суммарное время простоев достигло 52,47 ч. После ремонта и запуска системы смазывания совокупное время простоев за сопоставимый период сократилось до 4,3 ч. На рис. 1 представлена диаграмма изменения доли времени простоев в процентах по месяцам наблюдений от суммарного времени простоя за период наблюдений. Существенное снижение времени простоев при отсутствии иных организационных и технических мероприятий повышения эффективности эксплу-



Рис. 1
Изменение доли времени простоев в ремонте рабочего оборудования по месяцам от суммарного времени в ремонте с января по октябрь 2025 г.

Fig. 1
Changes in the share of working equipment repair downtime by months relative to the total repair time for the period of January–October 2025

атации экскаваторов служит прямым доказательством определяющего влияния функционирования АЦСС на работоспособность узлов трения экскаватора.

С уменьшением доли работоспособных компонентов смазочной системы наблюдается статистически значимый рост времени аварийных ремонтов оборудования экскаватора (рис. 2). Выявленная зависимость показывает, что в тяжелых условиях эксплуатации железорудных месторождений отклонения от требуемого графика или дозировки подачи смазки ведут к увеличению времени аварийных простоев машины по причине увеличения интенсивности изнашивания и увеличения интенсивности отказов оборудования.

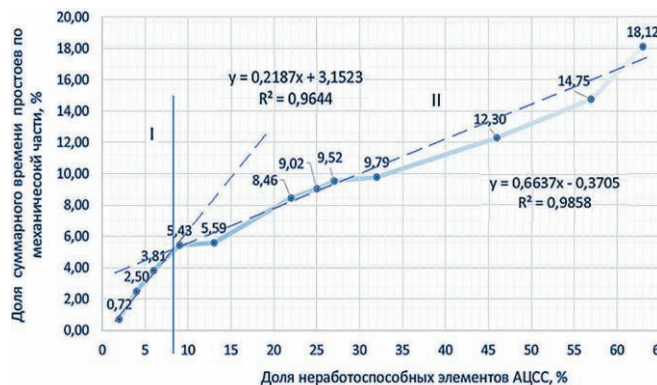


Рис. 2
Изменение доли суммарного времени простоев карьерных экскаваторов от доли работоспособных элементов АЦСС 2024–2025 гг.

Fig. 2
Changes in the share of the total downtime of mining excavators depending on the share of healthy elements of the automatic central lubrication system for the period of 2024–2025

На графике зависимости отношения доли общего времени простоев, связанных с аварийными отказами по механической части, от доли неработоспособных элементов автоматической системы смазывания электрического карьерного экскаватора выделяются две характерные области:

– I (0–10%) характеризует режим наиболее интенсивного увеличения простоев даже при незначительной доле неработоспособных элементов системы. Приращение доли неработоспособных элементов на 2% в диапазоне от 0 до

10 приводит к практически двукратному увеличению простоев.

– II (10–100%) описывает основную, наиболее обширную часть диапазона данных, где приращение доли неработоспособных элементов системы приводит к менее интенсивному росту аварийных отказов, но устойчивому увеличению времени простоев даже при частично-работоспособной системе смазки. Снижение интенсивности отказов в данной области обусловлено проведением смазочных работ в ручном режиме.

Эмпирические данные демонстрируют устойчивую корреляцию (коэффициент корреляции Спирмена $\rho = 0,82$) между переменными, которая описана двумя регрессионными моделями. Наличие неработоспособных элементов приводит к некорректной работе автоматической централизованной системы смазывания экскаваторов и оказывает непосредственное влияние на интенсивность отказов машины. Это приводит к интенсивному расходованию ресурса узлов, что, в свою очередь, увеличивает вероятность аварийных отказов. Кроме того, возрастает время, затрачиваемое на проведение внепланового технического обслуживания и ремонта, связанного со смазыванием узлов трения и борьбой с недостаточным количеством подаваемого смазочного материала. Для обеспечения функционирования узлов, к которым не подается смазочный материал, необходимо осуществлять смазывание в ручном режиме. В итоге некорректная работа АЦСС ведет к сокращению интервалов проведения технического обслуживания и ремонтов и увеличению времени их проведения, повышая общие эксплуатационные затраты.

Обсуждение результатов

Современные методы прогнозирования износа подтверждают, что эффективность определяется не объемом подачи, а способностью образовывать тонкие пленки. Своевременный вынос продуктов изнашивания из зоны трения при этом позволяет снизить интенсивность изнашивания сопрягаемых поверхностей. Отсутствие своевременной подачи смазочного материала (например, ось ОДК) приводит к сухому трению и росту интенсивности изнашивания. Критичность работоспособности седлового подшипника объясняется: переменными нагрузками (до 40 МПа) и ударными воздействиями при внедрении ковша в забой; низкими скоростями скольжения (0,01–0,1 м/с), исключая гидродинамический эффект; последовательной схемой смазывания (прогрессивный распределитель), при которой отказ одной точки нарушает смазывание всего узла. Таким образом, критичность работоспособности седлового подшипника классифицирует его как ресурсопределяющий узел. В таких условиях критична непрерывность подачи смазочного материала для снижения интенсивного изнашивания.

Список литературы / References

1. Голик В.И., Разоренов Ю.И., Валиев Н.Г., Гаврина О.А. Экологически чистые геотехнологии выщелачивания металлов из твердых и жидких отходов обогащения полиметаллического сырья. *Горные науки и технологии*. 2024;9(3):271–282. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2023-11-184>
2. Golik V.I., Razorenov Yu.I., Valiev N.G., Gavrina O.A. Environmentally sound geotechnologies for leaching metals from polymetallic ore processing wastes and wastewater. *Mining Science and Technology (Russia)*. 2024;9(3):271–282. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2023-11-184>
3. Shishlyannikov D., Zvonarev I., Rybin A., Zverev V., Ivanchenko A. Assessment of changes in the abrasiveness of solid particles in hydraulic mixtures pumped with ESPs. *Applied Sciences*. 2023;13(3):1885. <https://doi.org/10.3390/app13031885>

Предлагается критерий оценки эффективности АЦСС:

$$E = \frac{\Delta K_r C_{\text{пр}}}{C_{\text{см}} V_{\text{ф}} + C_{\text{то}} T_{\text{то}}},$$

где ΔK_r – прирост коэффициента готовности; $C_{\text{пр}}$ – стоимость простоя, руб.; $C_{\text{см}}$ – цена смазочного материала руб/л; $V_{\text{ф}}$ – фактический объем смазочного материала, л; $C_{\text{то}}$ – цена нормо-часа технического обслуживания, руб/ч; $T_{\text{то}}$ – время технического обслуживания, ч.

Рекомендуется внедрение дифференцированных регламентов с учетом фактических нагрузок и режимов эксплуатаций, переход к предиктивному обслуживанию с использованием IoT-датчиков [34; 35] давления и расхода и применение смазочных материалов с повышенной адгезией к бронзовым сплавам.

Заключение

Выявлена прямая корреляционная зависимость между работоспособным состоянием АЦСС и интенсивностью аварийных отказов. Статистические данные демонстрируют, что восстановление функциональности системы смазки ресурсопределяющих узлов, таких как седловой подшипник, приводит к существенному снижению общего времени связанных с ними простоев. Некорректная работа или отказ АЦСС являются одной из ключевых причин, сокращающих наработку и увеличивающих вероятность аварийных отказов механических узлов.

Таким образом, для повышения безотказности карьерных экскаваторов необходимы разработка и внедрение регламента смазывания на основе дифференцированных режимов, определяемых по результатам натурных наблюдений и стендовых испытаний. Реализация данного подхода, интегрированная в систему планово-предупредительного технического обслуживания с мониторингом состояния в реальном времени, позволит исключить работу сопряжений в режимах граничного трения, минимизировать перерасход смазочных материалов, сократить внеплановые простои, увеличить межремонтные интервалы и снизить совокупные эксплуатационные затраты.

Проведенное исследование подтверждает, что совершенствование работы систем АЦСС является действенным инструментом для повышения эксплуатационной надежности и экономической эффективности эксплуатации карьерных экскаваторов в условиях горнодобывающих предприятий.

Для решения практических задач, обозначенных в статье, согласно результатам проведенных исследований необходима разработка гибких регламентов настройки и технического обслуживания систем смазки, обусловленная их отсутствием или неадаптивностью к реальным условиям эксплуатации.



3. Вагапова Э.А., Иванова П.В. Комплекс гидромеханизированной добычи и газификации торфяного сырья для удаленных и труднодоступных регионов. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2026;(5):66–79. Режим доступа: https://giab-online.ru/files/Data/2026/5/05_2026_66-79.pdf (дата обращения: 29.03.2026).
Vagapova E. A., Ivanova P. V. Complex of hydromechanized extraction and gasification of peat raw materials for remote and hard-to-reach regions. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2026;(5):66–79. (In Russ.) Available at: https://giab-online.ru/files/Data/2026/5/05_2026_66-79.pdf (accessed: 29.03.2026).
4. Ermakov B.S., Shvetsov O.V., Ermakov S.B., Vologzhanina S.A. Investigation of the influence of cast microstructure on the operability of the crown of a quarry excavator. *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of Geology and Technical Sciences*. 2025;1(469):59–71. <https://doi.org/10.32014/2025.2518-170X.476>
5. Михайлов А.В., Казаков Ю.А., Соловьев И.В. Анализ элементов блочной технологии поверхностной выемки органогенного сырья. *Горная промышленность*. 2025;(1):129–136. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-1-129-136>
Mikhailov A.V., Kazakov Y.A., Soloviev I.V. V Analysis of block technology elements for surface excavation of organogenic material. *Russian Mining Industry*. 2025;(1):129–136. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-1-129-136>
6. Журавлев А.Г., Глебов И.А., Черепанов В.А. К вопросу повышения производительности и технической готовности мощных отечественных экскаваторов. *Проблемы недропользования*. 2023;(4):76–88. <https://doi.org/10.25635/2313-1586.2023.04.076>
Zhuravlev A.G., Glebov I.A., Cherepanov V.A. On the issue of development of productivity and technical readiness of powerful domestic excavators. *Problems of Subsoil Use*. 2023;(4):76–88. (In Russ.) <https://doi.org/10.25635/2313-1586.2023.04.076>
7. Keksin A.I., Filipenko I.A., Sorokopud N.I., Ovsiyannikov D.A. Effect of process parameters of magnetic abrasive finishing on productivity while ensuring surface quality of electrical engineering products. *International Journal of Engineering, Transactions B: Applications*. 2026;39(11):2815–2823. <https://doi.org/10.5829/ije.2026.39.11b.13>
8. Агагена А., Репкина К.С., Михайлов А.В. Корректировка регламента технического обслуживания карьерного гидравлического экскаватора на руднике Бухадра. *Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство*. 2024;(24):146–151. <https://doi.org/10.26160/2658-3305-2024-24-146-151>
Agaguena A., Repkina K.S., Mikhailov A.V. Adjusting the maintenance schedule of the hydraulic excavator at the open-pit Boukhadra mine. *Transport, Mining and Construction Engineering: Science and Production*. 2024;(24):146–151. (In Russ.) <https://doi.org/10.26160/2658-3305-2024-24-146-151>
9. Иванов С.Л., Сафрончук К.А., Олт Ю. Обоснование и выбор конструктивных параметров зубчато-эксцентрикового механизма поршневого смазочно-заправочного агрегата для технического обслуживания горных машин. *Записки Горного института*. 2021;248:290–299. <https://doi.org/10.31897/PMI.2021.2.13>
Ivanov S.L., Safronchuk K.A., Olt Y. Justification and selection of design parameters of the eccentric gear mechanism of the piston lubrication and filling unit for the mining machines maintenance. *Journal of Mining Institute*. 2021;248:290–299. <https://doi.org/10.31897/PMI.2021.2.13>
10. Иванов С.Л., Дудко П.П., Дмитриев Г.Ю., Подхалюзин С.П. Автоматические централизованные системы смазки. Опыт применения, проблемы и перспективы использования. *Записки Горного института*. 2008;178:22–26. Режим доступа: <https://pmi.spmi.ru/pmi/article/view/7188> (дата обращения: 29.03.2026).
Ivanov S.L., Dudko P.P., Dmitriev G.Y., Podkhalyuzin S.P. Automatic centralized lubrication systems. Experience of application, problems and prospects of use. *Journal of Mining Institute*. 2008;178:22–26. (In Russ.) Available at: <https://pmi.spmi.ru/pmi/article/view/7188> (accessed: 29.03.2026).
11. Виноградов Ю.И., Хохлов С.В., Зигангиров Р.Р., Мифтахов А.А., Суворов Ю.И. Оптимизация удельных энергозатрат на дробление горных пород взрывом на месторождениях со сложным геологическим строением. *Записки Горного института*. 2024;266:231–245. Режим доступа: <https://pmi.spmi.ru/pmi/article/view/16223> (дата обращения: 23.01.2025).
Vinogradov Y.I., Khokhlov S.V., Zigangirov R.R., Miftakhov A.A., Suvorov Y.I. Optimization of specific energy consumption for rock crushing by explosion at deposits with complex geological structure. *Journal of Mining Institute*. 2024;266:231–245. Available at: <https://pmi.spmi.ru/pmi/article/view/16223> (accessed: 23.01.2025).
12. Аникин К.В. Перспективы применения в России экскаваторов с объемом ковша 20 м³ и более. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2009;(12):365–369. Режим доступа: https://giab-online.ru/files/Data/2009/12/Anikin_12_2009.pdf (дата обращения: 29.03.2026).
Anikin K.V. The perspectives of application of excavators with bucket capacities of 20 cub. m and higher. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2009;(12):365–369. (In Russ.) Available at: https://giab-online.ru/files/Data/2009/12/Anikin_12_2009.pdf (accessed: 29.03.2026).
13. Колпаков В.О., Шибанов Д.А., Селезнев М.С., Хамидов О.У. Анализ функционирования систем централизованного смазывания узлов карьерных экскаваторов. *Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство*. 2025;(34):122–128. <https://doi.org/10.26160/2658-3305-2025-34-122-128>
Kolpakov V.O., Shibanov D.A., Seleznev M.S., Khamidov O.U. Analysis of the functioning of centralized lubrication systems for quarry excavator's parts. *Transport, Mining and Construction Engineering: Science and Production*. 2025;(34):122–128. (In Russ.) <https://doi.org/10.26160/2658-3305-2025-34-122-128>
14. Хамидов О.У., Шибанов Д.А. Техническое обслуживание и ремонт карьерных экскаваторов по регламенту с учетом фактических условий и режимов их эксплуатации. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2025;(12-3):152–167. https://doi.org/10.25018/0236_1493_2025_123_0_152
Khamidov O.U., Shibanov D.A. Regulated maintenance and repair of quarry excavators considering real-world conditions and operating modes. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2025;(12-3):152–167. (In Russ.) https://doi.org/10.25018/0236_1493_2025_123_0_152



15. Ковалев М.А., Москвичев В.В. Надежность карьерных экскаваторов на угольных разрезах Кузбасса. В кн.: *Лебедев М.П. (ред.) Целостность и ресурс в экстремальных условиях: сб. материалов и докл. Всерос. конф., приуроченной к 75-летию ЯНЦ СО РАН, г. Якутск, 19–23 сентября 2024 г.* Якутск: Межрегиональный центр инновационных технологий в образовании; 2024. С. 300–303. <https://doi.org/10.24412/cl-37269-2024-1-300-303>
16. 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>
17. Грабский А.А., Сергеев В.Ю., Грабская Е.П. Обоснование выбора стратегии технического обслуживания и ремонтов карьерных экскаваторов. *Уголь*. 2021;(2):14–17. <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2021-2-14-17>
Grabsky A.A., Sergeev V.Yu., Grabskaya E.P. Rationale for choosing a strategy for maintenance and repair of quarry excavators. *Ugol'*. 2021;(2):14–17. (In Russ.) <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2021-2-14-17>
18. Сурина Н.В., Мнацаканян В.У. Система автоматизированного проектирования технологических процессов при ремонте горной техники. *Горный журнал*. 2019;(7):90–95. <https://doi.org/10.17580/gzh.2019.07.08>
Surina N.V., Mnatsakanyan V.U. Automated process design system for mining equipment repair. *Gornyi Zhurnal*. 2019;(7):90–95. (In Russ.) <https://doi.org/10.17580/gzh.2019.07.08>
19. Литвин О.И., Хорешок А.А., Дубинкин Д.М., Марков С.О., Стенин Д.В., Тюленев М.А. Анализ методик расчета производительности карьерных гидравлических экскаваторов. *Горная промышленность*. 2022;(5):112–120. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2022-5-112-120>
Litvin O.I., Khoreshok A.A., Dubinkin D.M., Markov S.O., Stenin D.V., Tyulenev M.A. Analysis of methods for calculating the productivity of open-pit hydraulic shovels and backhoes. *Russian Mining Industry*. 2022;(5):112–120. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2022-5-112-120>
20. Бердников И.Е., Озорнин С.П. Математические модели определения количества отказов транспортно-технологических машин в зависимости от факторов условий эксплуатации. *Современные технологии. Системный анализ. Моделирование*. 2017;(2):134–141.
Berdnikov I.E., Ozornin S.P. Mathematical models for determining the transport-technological machines failure rate depending on the factors of operating conditions. *Modern Technologies. System Analysis. Modeling*. 2017;(2):134–141. (In Russ.)
21. Герике П.Б., Герике Б.Л. Формирование единого диагностического критерия для оценки технического состояния горного оборудования. *Горное оборудование и электромеханика*. 2021;(2):17–22. <https://doi.org/10.26730/1816-4528-2021-2-17-22>
Gericke P.B., Gericke B.L. Creation of a unified diagnostic criterion for assessing the technical condition of mining equipment. *Mining Equipment and Electromechanics*. 2021;(2):17–22. (In Russ.) <https://doi.org/10.26730/1816-4528-2021-2-17-22>
22. Юсов Д.С., Иванова П.В., Иванов С.Л. Систематизация рабочих органов машин глубокого фрезерования. *Горная промышленность*. 2024;(3):85–89. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-3-85-89>
Yusov D.S., Ivanova P.V., Ivanov S.L. Systematization of end effectors of deep milling machines for peat extraction. *Russian Mining Industry*. 2024;(3):85–89. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-3-85-89>
23. Михайлов А.В., Смирнов А.И. Анализ метода выемки торфяного сырья с откоса карьера. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2026;(2-1):197–209. Режим доступа: https://giab-online.ru/files/Data/2026/2-1/2-1_2026_197-209.pdf (дата обращения: 23.01.2026).
Mikhailov A.V., Smirnov A.I. Digging method analyzing organogenic materials mining by in-pit method. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2026;(2-1):197–209. (In Russ.) Available at: https://giab-online.ru/files/Data/2026/2-1/2-1_2026_197-209.pdf (accessed: 23.01.2026).
24. Babyr N.V., Kuziev D.A., Sazankova E.S., Dobler M.O. Influence of cyclic impacts of powered roof support on weakening of immediate roof rocks. *Eurasian Mining*. 2026;(1):14–19. Available at: <https://www.rudmet.ru/journal/2523/article/41017/> (accessed: 17.04.2026).
25. Комиссаров А.П., Лагунова Ю.А., Набиуллин Р.Ш., Хорошавин С.А. Цифровая модель процесса экскавации горных пород рабочим оборудованием карьерного экскаватора. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2022;(4):156–168. https://doi.org/10.25018/0236_1493_2022_4_0_156
Komissarov A.P., Lagunova Yu.A., Nabiullin R.Sh., Khoroshavin S.A. Digital model of shovel work process. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2022;(4):156–168. (In Russ.) https://doi.org/10.25018/0236_1493_2022_4_0_156
26. Муминов Р.О., Рузибаев А.Н., Жураев Н.Н., Равшанов Ж.Р., Кузиев Д.А. Разработка мероприятий по совершенствованию вращательно-падающего механизма бурового станка. *Уголь*. 2024;(1):94–99. <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2024-1-94-99>
Muminov R.O., Ruzibaev A.N., Juraev N.N., Ravshanov J.R., Kuziev D.A. Development of measures to enhance the rotation and feed mechanism of a drill rig. *Ugol'*. 2024;(1):94–99. (In Russ.) <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2024-1-94-99>
27. Соснина Е.Н., Асабин А.А., Бедретдинов Р.Ш., Крюков Е.В., Гусев Д.А. Тиристорное вольтодобавочное устройство для снижения колебаний напряжения в системах электроснабжения горно-рудных предприятий. *Записки Горного института*. 2025;272:159–170. Режим доступа: <https://pmi.spmi.ru/pmi/article/view/16450> (дата обращения: 25.03.2026).
Sosnina E.N., Asabin A.A., Bedretdinov R.S., Kryukov E.V., Gusev D.A. Thyristor booster device for voltage fluctuation reduction in power supply systems of ore mining enterprises. *Journal of Mining Institute*. 2025;272:159–170. Available at: <https://pmi.spmi.ru/pmi/article/view/16450> (accessed: 25.03.2026).



28. Кантович Л.И., Литвин О.И., Хорешок А.А., Тюленева Е.А. Опыт и перспективы применения гидравлических экскаваторов при отработке угленасыщенных зон на разрезах Кузбасса. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2019;(4):152–160. <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2019-04-0-152-160>
Kantovich L.I., Litvin O.I., Khoreshok A.A., Tyuleneva E.A. Hydraulic excavators in coal-rich zones of open pit mines in Kuzbass: experience and prospects. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2019;(4):152–160. (In Russ.) <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2019-04-0-152-160>
29. Домбровский Н.Г. *Экскаваторы: общие вопросы теории, проектирования, исследования и применения*. М.: Машиностроение; 1969. 319 с.
30. Клементьева И.Н., Кузиев Д.А. Установление максимальной жесткости упругодемпфирующего устройства в механизме тяги драглайна. *Горный журнал*. 2021;(5):79–83. <https://doi.org/10.17580/gzh.2021.05.09>
Klementieva I.N., Kuziev D.A. Maximal stiffness of elastically damping device in traction of draglines. *Gornyi Zhurnal*. 2021;(5):79–83. (In Russ.) <https://doi.org/10.17580/gzh.2021.05.09>
31. Малафеев С.И., Малафеева А.А., Коняшин В.И., Новгородов А.А. Мехатронная система для обкатки и испытаний механических передач карьерных экскаваторов. *Горные науки и технологии*. 2025;10(1):75–83. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2024-05-262>
Malafeev S.I., Malafeeva A.A., Konyashin V.I., Novgorodov A.A. Mechatronic system for running-in and testing of mechanical transmissions in mining shovels. *Mining Science and Technology (Russia)*. 2025;10(1):75–83. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2024-05-262>
32. Reshetnyak S.N., Zotov V.V., Kuziev D.A., Kozlova O.Yu. Enhancing performance efficiency of electric consumers within surface infrastructure of coal mines. *Eurasian Mining*. 2025;(1):100–104. <https://doi.org/10.17580/em.2025.01.20>
33. Халимоненко А.Д., Шмакова Ю.Р., Адмакина О.Н., Куфаев В.Г. Особенности высокоскоростного торцевого фрезерования деформируемых алюминиевых сплавов. *Цветные металлы*. 2024;(6):81–88. <https://doi.org/10.17580/tsm.2024.06.10>
Khalimonenko A.D., Shmakova Yu.R., Admakina O.N., Kufaev V.G. High-speed face milling features of deformable aluminum alloys. *Tsvetnye Metally*. 2024;(6):81–88. (In Russ.) <https://doi.org/10.17580/tsm.2024.06.10>
34. Хакулов В.А., Шаповалов В.А., Игнатов В.Н., Карпова Ж.В., Игнатов М.В., Ногеров И.А. Обоснование рациональной области и технологии применения гидравлических экскаваторов на открытых горных работах. *Горные науки и технологии*. 2025;10(4):338–345. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2025-09-460>
Khakulov V.A., Shapovalov V.A., Ignatov V.N., Karpova Zh.V., Ignatov M.V., Nogеров I.A. Justification of the rational scope and technology for the use of hydraulic excavators in surface mining. *Mining Science and Technology (Russia)*. 2025;10(4):338–345. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2025-09-460>
35. Kuvshinkin S., Ivanova P. Impact analysis of bucket capacity and boom length of mining excavators on hoisting mechanism life. *E3S Web of Conferences*. 2021;326:00032. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202132600032>

Информация об авторах

Колпаков Владимир Олегович – аспирант кафедры машиностроения, Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; <https://orcid.org/0009-0003-3874-6633>; e-mail: kolpakoffon@yandex.ru

Шибанов Даниил Александрович – кандидат технических наук, доцент кафедры машиностроения, г. Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0002-6203-0219>

Селезнёв Михаил Станиславович – главный инженер, начальник отдела смазочных систем промышленного оборудования, ООО «ТЕХПАРТНЕР», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; <https://orcid.org/0009-0004-8225-6858>

Information about the authors

Vladimir O. Kolpakov – Postgraduate Student, Department of Mechanical Engineering, Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University, Saint Petersburg, Russian Federation; <https://orcid.org/0009-0003-3874-6633>; e-mail: kolpakoffon@yandex.ru

Daniil A. Shibyanov – Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Department of Mechanical Engineering, Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University, Saint Petersburg, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0002-6203-0219>

Mikhail S. Seleznev – Chief Engineer, Head of the Industrial Equipment Lubrication Systems Department, TECHPARTNER LLC, Saint Petersburg, Russia Federation; <https://orcid.org/0009-0004-8225-6858>

Article info

Received: 17.06.2026

Revised: 29.07.2026

Accepted: 06.08.2026

Информация о статье

Поступила в редакцию: 17.06.2026

Поступила после рецензирования: 29.07.2026

Принята к публикации: 06.08.2026