

ISSN 1995-2732 (Print), 2412-9003 (Online)  
УДК 622.1  
DOI: 10.18503/1995-2732-2025-23-3-52-58



## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И АНАЛИЗ ПРОЦЕССА НАГРУЖЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ РАБОЧЕГО ОБОРУДОВАНИЯ КАРЬЕРНЫХ ЭКСКАВАТОРОВ**

**Ситдикова С.В.<sup>1</sup>, Великанов В.С.<sup>1,3</sup>, Строганов Ю.Н.<sup>2</sup>, Чернухин С.А.<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Уральский государственный горный университет, Екатеринбург, Россия

<sup>2</sup>Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия

<sup>3</sup>Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия

**Аннотация. Постановка задачи (актуальность работы).** Экономическое развитие Российской Федерации во многом определяется ресурсобеспеченностью. Разведанные запасы меди, железной руды, никеля и других твердых полезных ископаемых значительны и достаточны для покрытия внутренних потребностей. Добыча этих полезных ископаемых в основном рентабельна открытым способом с использованием парка карьерной добычной техники и транспорта. Определяющее место в технологической цепочке добычи занимают карьерные гусеничные экскаваторы. Эффективность эксплуатации экскаваторов в условиях современного производства определяется и обеспечивается правильной организацией и проведением комплекса работ по техническому обслуживанию и ремонту, уменьшении количества отказов и длительности простоев. **Используемые методы.** При решении поставленных задач использовался комплексный подход, включающий системный научный анализ и обобщение ранее опубликованных исследований. Для оценки напряженно-деформированного состояния элементов несущих металлоконструкций карьерных экскаваторов применялся метод конечных элементов. **Новизна.** Комплексное использование в экспериментальных исследованиях тензометрирования напряженно-деформированного состояния конструкций и моделирование процесса нагружения для разных параметров забоя и развала горной массы позволило получить необходимый объем данных для рекомендаций по совершенствованию узлов металлоконструкций экскаваторов, технологии их восстановления и ремонта, а также систематизация правил и требований к эксплуатации карьерных экскаваторов в тяжелых горно-геологических условиях. **Практическая значимость.** Разработка рекомендаций по оптимальному управлению карьерным экскаватором в итоге позволит снизить количество отказов рабочего оборудования и увеличит его ресурс.

**Ключевые слова:** карьерный экскаватор, рабочее оборудование, тензометрирование, полезное ископаемое, распределение напряжений

© Ситдикова С.В., Великанов В.С., Строганов Ю.Н., Чернухин С.А., 2025

### **Для цитирования**

Экспериментальные исследования и анализ процесса нагружения элементов рабочего оборудования карьерных экскаваторов / Ситдикова С.В., Великанов В.С., Строганов Ю.Н., Чернухин С.А. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2025. Т. 23. №3. С. 52-58.  
<https://doi.org/10.18503/1995-2732-2025-23-3-52-58>



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.  
The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

# EXPERIMENTAL STUDIES AND ANALYSIS OF THE LOADING PROCESS OF WORKING EQUIPMENT ELEMENTS OF QUARRY CRAWLER EXCAVATORS

Sitdikova S.V.<sup>1</sup>, Velikanov V.S.<sup>1,3</sup>, Stroganov Y.N.<sup>2</sup>, Chernukhin S.A.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Ural State Mining University, Yekaterinburg, Russia;

<sup>2</sup>Ural Federal University named after the First President of Russia B.N. Yeltsin, Yekaterinburg, Russia;

<sup>3</sup>Ural State Agrarian University, Yekaterinburg, Russia

**Abstract. Problem Statement (Relevance).** The economic development of the Russian Federation is largely determined by resource availability. Explored reserves of copper, iron ore, nickel and other solid minerals are significant and sufficient to cover domestic needs. Extraction of these minerals is mainly profitable by open-pit mining using a fleet of quarry mining equipment and transport. Quarry crawler excavators occupy a decisive place in the technological chain of extraction. The efficiency of excavator operation is determined and ensured in the conditions of modern production by the correct organization and implementation of a set of works on technical maintenance and repair, reduction of the number of failures and duration of downtime. **Methods Applied.** When solving the tasks, an integrated approach was used, including: system scientific analysis and generalization of previously published studies. The finite element method was used to assess the stress-strain state of the elements of load-bearing metal structures of quarry excavators. **Originality.** The complex use of strain-gauging of the stress-strain state of structures and modeling of the loading process for different parameters of the face and the collapse of the rock mass in experimental studies made it possible to obtain the necessary amount of data for recommendations on improving the units of metal structures of excavators, the technology of their restoration and repair, as well as systematization of the rules and requirements for the operation of quarry excavators in severe mining and geological conditions. **Practical Relevance.** Development of recommendations for optimal control of a quarry excavator, which will ultimately reduce the number of failures of working equipment and increase its service life.

**Keywords:** quarry excavator, working equipment, strain-gauging, mineral, stress distribution

## For citation

Sitdikova S.V., Velikanov V.S., Stroganov Y.N., Chernukhin S.A. Experimental Studies and Analysis of the Loading Process of Working Equipment Elements of Quarry Crawler Excavators. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2025, vol. 23, no. 3, pp. 52-58. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2025-23-3-52-58>

## Введение

Экономическое развитие нашей страны во многом определяется объемами добычи не только углеводородных природных ресурсов, но и твердых полезных ископаемых, которые принято относить к стратегическим минеральным ресурсам страны, а именно металлические руды – железная руда, медь, никель и др. Разведанные запасы этих руд в Российской Федерации достаточны для покрытия внутренних потребностей, а также имеют высокий потенциал для экспорта при изменениях в мировой экономике [1]. В большинстве случаев они извлекаются из недр открытым способом разработки месторождений. Развитие открытой геотехнологии предполагает не только совершенствование технологий открытой добычи твердых полезных ископаемых с внедрением на горных предприятиях современных мощных машин, в контексте данной публикации – карьерных экскаваторов, но и в повышение эффективности эксплуатации действующего парка карьерных экскаваторов, произведенных и принятых в эксплуатацию во второй половине прошлого века. Технологический и технический уровни основных процессов открытых горных работ зависит от степени механизации и автоматизации производственных процессов и горных машин.

Эффективность эксплуатации действующего парка карьерной техники обеспечивается в условиях современного производства правильной организацией и проведением комплекса работ по техническому обслуживанию и ремонту, уменьшению количества отказов и длительности простоев. За счет этого во многом реализуется непрерывность производства, улучшается качество конечной продукции горного передела, снижаются эксплуатационные расходы на оборудование [2]. Техническое обслуживание оборудования настолько важно, что в горнодобывающей промышленности на него тратится от 35 до 50% годового бюджета, а в строительной – около 30% [3, 4]. За последнее десятилетие техническое обслуживание в горнодобывающей и строительной отраслях пережило значительные изменения благодаря доступности данных в режиме реального времени. К горнодобывающей технике можно применять четыре распространенных подхода к техническому обслуживанию: реактивный, профилактический, основанный на состоянии и предписывающий [5].

В отчетных материалах Федеральной службы государственной статистики указывается, что за 2019–2024 годы износ машин и оборудования предприятий горной отрасли составил 64,6%, транспортных средств

– 60,4%. Значительная часть парка карьерных экскаваторов (68%) находится в эксплуатации 23 года и более, при заявлении сроке службы в 21 год [6, 7]. Следует отметить, что в сложившихся реалиях государственная политика относительно данной проблемы направлена на представление субсидий горнодобывающим предприятиям, так из публикации в «Коммерсанть» [8] следует, что: «Минпромторг предлагает субсидировать до 20% от стоимости новых отечественных карьерных экскаваторов при их покупке на замену такой же техники, отработавшей свой срок службы и не соответствующей современным требованиям безопасности. Причем технику нужно будет сдать на утилизацию. Согласно проекту соответствующего постановления, новый карьерный экскаватор должен быть предназначен для проведения выемочных работ при открытом способе добычи полезных ископаемых, иметь объем ковша не менее 10 кубических метров, а также иметь подтверждение о соответствии требованиям 719-го постановления о локализации. Необходимый объем финансирования этой субсидии на 2021 год оценивался в 0,3 млрд руб., на период с 2022 по 2024 годы – 1 млрд руб.».

### Материалы и методы исследования

Классическое определение термина «надежность» заключается в том, что это вероятность того, что машина, оборудование или устройство будет выполнять функции, для которых оно предназначено, в условиях, указанных для его эксплуатации, в течение определенного периода времени. Когда устройство не выполняет свою предполагаемую функцию, можно говорить, что оно отказалось. Фундаментальные проблемы и прикладные задачи теории надежности горных машин подробно изучены и освещены в трудах как советских, так и российских ученых, а также их иностранных коллег. Особое место занимают работы корифеев горной науки Подэрни Р.Ю., Коха П. И., Солода В.И., Солода Г.И., Гетопанова В. Н., Тропа А.Е., Голубева А.Е., Шпильберга И.Л. и других замечательных ученых. Изучение значительного объема научно-технической литературы позволило авторам прийти к заключению, что проблематика исследований теории надежности сводится к пониманию закономерностей, по которым случаются отказы горнотранспортной техники в разнообразных условиях эксплуатации и постоянная неопределенность времени возникновения отказов.

В рамках данной публикации кратко охарактеризуем понятие отказа. Отказ может быть любым инцидентом или условием, которое приводит к тому, что произведенный продукт, процесс, машина, материал или услуга ухудшаются или становятся непригодными для удовлетворительной, безопасной, надежной и экономически эффективной работы [9]. Причем в некоторых случаях достоверность полученных данных об отказах карьерного электромеханического оборудования вызывает нарекания и сомнения. Это обстоятельство можно объяснить следующими факторами: дей-

ствующие нормативные документы не способствуют качественному учету условий возникновения отказов; некорректное и недостоверное представление отчетов диспетчерских и механических служб об отказах и проведенных ремонтных воздействиях. В работе [13] представлен анализ характерных дефектов карьерных экскаваторов ЭКГ-10 на примере состояния одного из парков экскаваторной техники, и в исследованиях [1, 14] карьерных экскаваторов ЭКГ-5А приведена их фотофиксация (см. таблицу).

Таблица. Выявленные дефекты карьерных экскаваторов  
Table. Defects of quarry excavators identified

Фотофиксация дефекта	Элементы рабочего оборудования
	ЭКГ-10
Стрела	 Трешины по основному металлу проушины крепления нижней секции стрелы на платформе
	 Трешины по основному металлу и сварным швам нижней секции в районе сопряжения с поперечиной
Ковш	 Трешины на коромысле
	 Трешины на корпусе уравнительного блока
	ЭКГ-5А
Ковш	 Износ звена цепи, а также трещины в зоне крепления зубьев, трещины передней стенки, трещины, проходящие через проушины крепления ковша к рукояти
	 Неправильное соединение коромысла ковша

В качестве объекта исследований нами выбран экскаватор ЭКГ-15, который позиционировался как замена экскаваторам ЭКГ-8И и ЭКГ-12,5. Экскаваторы ЭКГ-10 и ЭКГ-15М, как традиционные модификации ижорских экскаваторов, отличаются вариациями с удлиненным рабочим оборудованием – это ЭКГ-5У, ЭКГ-8УС (модификации ЭКГ-10) и ЭКГ-8У, 12УС (модификации ЭКГ-15) (рис. 1) [10].

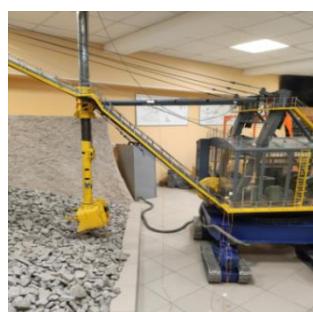
К основным задачам, проводимым в рамках данной публикации, можно отнести следующие: анализ и систематизация теоретических и экспериментальных материалов по отказам карьерных экскаваторов; сбор и обработка статистической информации, характеризующей фактические значения ресурса узлов карьерных экскаваторов; разработка плана работ по проведению лабораторных экспериментальных исследований на действующем макете карьерного экскаватора; разработка 3D-модели элементов рабочего оборудования карьерного экскаватора для установления напряженно-деформированного состояния для развалов горных пород с разными физико-механическими свойствами.



Рис. 1. Общий вид ЭКГ-15М в забое [10]

Fig. 1. General view of EKG-15M (quarry excavator) at the face [10]

Конструктивное исполнение современного карьерного экскаватора не особо изменилось со второй половины XX века, оно включает следующие базовые элементы и механизмы:



а



б

Рис. 2. Визуализация лабораторных экспериментальных исследований: а – действующая модель карьерного экскаватора (кафедра ГМК ФГБОУ ВО «УГГУ»); б – программно-аппаратный комплекс

Fig. 2. Visualization of laboratory experimental studies: a is working model of a quarry excavator (Department of Mining and Metallurgy, Ural State Mining University); b is software and hardware complex

1) стрела и рукоять с ковшом, их принято относить к элементам рабочего оборудования, известно два технических решения: с реечным напором и моноблочной стрелой, установленной на платформе под углом 45° (фирмами-производители «Харнишвегер» (США) и ОАО «Уралмаш» (РФ)), и с канатными приводами механизмов подъёма, напора ковша и шарнирно сочлененной стрелой, также установленной на платформе под углом 45° (фирмы-производители «Бюсайрус Эри» (США) и ОАО «Ижорские заводы» (РФ)) [12];

- 2) поворотная платформа с механизмами;
- 3) ходовая тележка.

### Результаты и их обсуждение

Методы регистрации и контроля деформаций металлоконструкций достаточно подробно описаны и изучены. Широко в исследованиях применяются, как правило, неразрушающие или натурные экспериментальные методы диагностики. Для проведения лабораторного эксперимента для оценки нагруженности элементов металлоконструкций карьерных экскаваторов авторами использован тензометрический метод экспериментальной диагностики. Это связано с его универсальностью и относительно невысокой стоимостью, при этом метод позволяет длительное время проводить контроль деформаций в конструкциях, осуществлять оценку эксплуатационных режимов [15].

В составе программно-аппаратного комплекса, используемого в лабораторном эксперименте, задействованы: первичные преобразователи – размещаются на исследуемых элементах и преобразуют измеряемую физическую величину в сигнал; модули сбора и обработки данных – являются промежуточными измерительными преобразователями и предназначены для приема и обработки информации с ПП, усиления и передачи ее на ЭВМ; источник питания; устройства и линии связи для обеспечения обмена информацией и командами между устройствами и подсистемами; персональный компьютер с программным обеспечением для регистрации, визуализации и анализа данных (рис. 2).

Фиксация и запись измеренных сигналов осуществлялась с помощью интеллектуальных цифровых датчиков и программного обеспечения российской фирмы Zetlab [16]. В программе MatLab экспериментальные данные были обработаны, результаты приведены на рис. 3. Фиксировались временные промежутки, характерные для операций цикла экскавации горной массы, пиковые участки диаграммы характеризуют работу ковша в момент черпания и объясняются изменением сопротивления взорванной горной массы процессукопания, обусловленным неоднородностью ее физико-механических свойств – кусковатости и коэффициента разрыхления, причем это характерно до завершения процесса черпания, который в неблагоприятных условиях может повторяться несколько раз. В качестве объекта воздействия использовался развал щебня с разным фракционным составом, а именно 5–20, 20–40 и частично 40–70 мм, варьировались режимы управления экскаватором посредством изменения предельных скоростей при перемещении ковша в разные фазы процесса экскавации.

Для оценки результатов экспериментальных исследований нами в программе трехмерного проектирования КОМПАС-3D 21.0.1.1172 (64-разрядная версия) компании ООО «АСКОН-Системы проектирования» создана по геометрическим размерам 3D-модель элементов рабочего оборудования (подсистема рукоять-ковш), параметры нагружения моделировались для развалов горных пород с разными физико-механическими свойствами, отдельные результаты представлены на рис. 4. Результаты сопоставимы и адекватны данным, полученным в ходе исследований [17], и коррелируются с данными работы [15] (рис. 4).

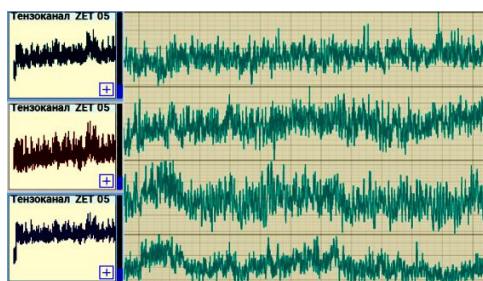


Рис. 3. PrtSC-записи аппаратуры ZETLAB по оценке точек напряженно-деформированного состояния в элементах рабочего оборудования

Fig. 3. PrtSC records of ZETLAB equipment for assessing stress-strain state in elements of working equipment

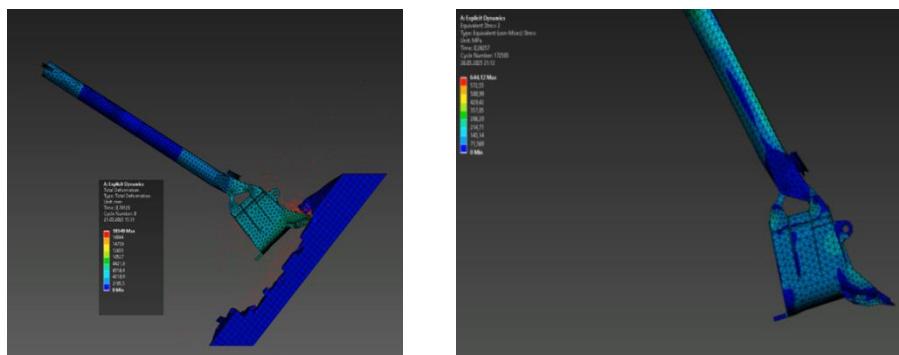


Рис. 4. Исследование напряженно-деформированного состояния элементов рабочего оборудования

## Заключение

Одним из определяющих факторов, оказывающих влияние на работу карьерного экскаватора при разработке горных пород, выступают физико-механические характеристики разрабатываемого массива. Прежде всего следует отметить твердость породы, от которой напрямую зависит необходимое усилие резания, уровень износа рабочего оборудования и продолжительность рабочего цикла экскавации. Лабораторные тензометрические измерения нагрузок в ходе проведенных экспериментов показали, что предельные нагрузки, возникающие при черпании горной массы, зависят от физико-механических свойств горных пород и от скоростных режимов подъема ковша, определяемых наряду с квалификацией машиниста карьерного экскаватора равномерностью кускового состава подготовленной горной массы.

Изменчивость гранулометрического состава создает неравномерное сопротивление при копании, что затрудняет стабильную работу карьерного экскаватора, снижает коэффициент заполнения ковша и в итоге влияет на показатели надежности электромеханического оборудования экскаватора.

Таким образом, результаты настоящего исследования могут быть использованы для обоснования и разработки рекомендаций по совершенствованию узлов металлоконструкций экскаваторов, технологии их восстановления и ремонта, а также систематизации правил и требований к эксплуатации карьерных экскаваторов в тяжелых горно-геологических условиях.

## Список источников

1. О влиянии гранулометрии взорванной горной массы на распределение напряжений в рабочем оборудовании карьерного экскаватора / Великанов В.С., Чернухин С. А., Тельминов Н.С., Дремин А.В., Ломовцева Н. В., Ситдикова С. В. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова. 2024. Т. 22. №4. С. 30–43. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2024-22-4-30-43>.
2. Maruszewska E., Tkocz-Wolny K. Accounting in making investment decisions in the field of fixed assets // Scientific Papers of the Silesian University of Technology Organization and Management. 2004, no. 22, Gliwice.
3. Christiansen B. Exploring Biggest Maintenance Challenges in the Mining Industry. Available online: <https://www.mining.com/web/exploring-biggest-maintenance-challenges-mining-industry/#:~:text=Mining%20equipment%20maintenance%20is%20so,equipment%20maintenance%20and%20repair%20alone.&text=Deploying%20such%20technology%20in%20maintenance,can%20significant> (accessed on 30 July 2018).
4. Norris G. The True Cost of Unplanned Equipment Downtime. Available online: <https://www.forconstructionpros.com/equipment-management/article/21104195/the-true-cost-of-unplanned-equipment-downtime>.
5. Provencher M.A Guide to Predictive Maintenance for Smart Mine. Available online: <https://www.mining.com/a-guide-to-predictive-maintenance-for-the-smart-mine>.
6. Федеральная служба государственной статистики. Российский статистический ежегодник. 2019 г. URL: <https://www.gks.ru/>.
7. Москвичев В.В., Ковалев М.А. Оценка показателей эксплуатационной надежности карьерных гидравлических экскаваторов // Журнал Сибирского федерального университета. Техника и технологии. 2020. 13(6). С. 745–756. DOI: 10.17516/1999-494X-0263.
8. <https://www.kommersant.ru/daily>
9. Witherell C. E. Mechanical Failure Avoidance: Strategies and Techniques, Publisher: McGraw-Hill, 1994, p. 265.
10. <https://infomach.ru/excavator-ecg-15/>
11. Анализ отказов механического оборудования и металлоконструкций экскаваторов / Москвичев В.В., Доронин С.В., Утехин С.А. Эбич В.Р. Красноярск: ВЦ СО АН СССР, 1989. 33 с.
12. Ананин В.Г., Эмилов А.Б. Анализ эксплуатационных показателей карьерных гидравлических экскаваторов и экскаваторов с механическим приводом // Вестник ТГАСУ. 2015. № 4. С.212-218
13. Дефекты металлоконструкции карьерных экскаваторов / Богданов А. П. [и др.]. // Universum: Технические науки: электрон. научн. журн. 2015. № 11 (22). URL: <http://7universum.com/ru/tech/archive/item/2775>
14. Великанов В.С., Тельминов Н.С., Дремин А.В. Возможные варианты дефектов и неправильных ремонтных воздействий на элементы рабочего оборудования ЭКГ // Инновационное развитие техники и технологий наземного транспорта : сборник статей VI Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 95-летнему юбилею кафедры подъемно-транспортных машин и роботов, Екатеринбург, 13 декабря 2024 года.
15. Екатеринбург: Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, 2025. С. 157–159. EDN BHPXIC.
16. Великанов В.С. Научные основы системы снижения рисков отказов при управлении карьерным экскаватором: специальность 05.05.06 «Горные машины»: дис. ... д-ра техн. наук / Великанов Владимир Семенович. Екатеринбург, 2020. 292 с. EDN IFCXZX.
17. Режим доступа: <http://www.zetlab.ru/>
18. Лагунова Ю.А., Макарова В.В., Набиуллин Р.Ш. Анализ методов диагностирования состояния металлоконструкций на примере экскаваторостроения // Горное оборудование и электромеханика. 2022. № 6 (164). С. 17–25. DOI: 10.26730/1816-4528-2022-6-17-25

## References

1. Velikanov V.S., Chernukhin S.A., Telminov N.S., Dremin A.V., Lomovtseva N.V., Sิตdikova S.V. On the influence of granulometry of blasted rock mass on the distribution of stresses in the working equipment of a quarry excavator. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G. I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University], 2024;22(4):30-43. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2024-22-4-30-43> (In Russ.)
2. Maruszewska E., Tkocz-Wolny K. Accounting in making investment decisions in the field of fixed assets. *Scientific Papers of the Silesian University of Technology Organization and Management*. 2004;(22).
3. Christiansen B. Exploring Biggest Maintenance Challenges in the Mining Industry. Available at: <https://www.mining.com/web/exploring-biggest-maintenance-challenges-mining-industry/#:~:text=Mining%20equipment%20maintenance%20is%20so,equipment%20maintenance%20and%20repair%20alone.&text=Deploying%20such%20technology%20in%20maintenance,can%20significant> (Accessed July 30, 2018).
4. Norris G. The True Cost of Unplanned Equipment Downtime. Available at: <https://www.forconstructionpros.com/equipment-management/article/21104195/the-true-cost-of-unplanned-equipment-downtime>
5. Provencher M.A Guide to Predictive Maintenance for Smart Mine. Available at: <https://www.mining.com/a-guide-to-predictive-maintenance-for-the-smart-mine>
6. *Federalnaya sluzhba gosudarstvennoy statistiki. Rossiyskiy statisticheskiy ezhegodnik* [Federal State Statistics Service. Russian Statistical Yearbook], 2019. Available at: <https://www.gks.ru/>.
7. Москвичев В.В., Kovalev M.A. Assessment of operational reliability indicators of quarry hydraulic excavators. *Zhurnal Sibirskogo federalnogo universiteta. Tekhnika i tekhnologii* [Journal of SFE. Engineering&Technologies], 2020;13(6):745-756. DOI: 10.17516/1999-494X-0263 (In Russ.)
8. Available at: <https://www.kommersant.ru/daily>
9. Witherell C.E. Mechanical Failure Avoidance: Strategies and Techniques, McGraw-Hill. 265 (1994).
10. Available at: <https://infomach.ru/excavator-ecg-15/>
11. Москвичев В.В., Доронин С.В., Утехин С.А., Эбич В.Р. *Analiz отказов mekhanicheskogo oborudovaniya i metal-*

- lokonstruktsiy ekskavatorov* [Analysis of failures of mechanical equipment and metal structures of excavators]. Krasnoyarsk: Computing Center of the Siberian Branch of the USSR Academy of Sciences, 1989, 33 p. (In Russ.)
12. Ananin V.G., Emilov A.B. Analysis of operational indicators of quarry hydraulic excavators and excavators with mechanical drive. *Vestnik TGASU* [Journal of Construction and Architecture], 2015;(4): 212-218 (In Russ.)
13. Bogdanov A.P., et al. Defects in the metal structure of quarry excavators. *Universum: Tekhnicheskie nauki: elektron. nauchn. zhurn.* [Universum: Technical sciences: electronic scientific journal], 2015;(11(22)). Available at: <http://7universum.com/ru/tech/archive/item/2775>
14. Velikanov V.S., Telminov N.S., Dremin A.V. Possible variants of defects and incorrect repair actions on elements of the working equipment of the EKG. *Innovatsionnoe razvitiye tekhniki i tekhnologiy nazemnogo transporta: sbornik statey VI Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 95-letnemu yubileyu kafedry podzemno-transportnyh mashin i robotov* [Innovative development of equipment and technologies of land transport. Proceedings of the VI All-Russian scientific and practical conference dedicated to the 95th anniversary of the department of lifting and transport machines and robots]. Yekaterinburg: Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, 2025, pp. 157-159. EDN BHPXIC. (In Russ.)
15. Velikanov V.S. *Nauchnye osnovy sistemy snizheniya riskov otkazov pri upravlenii karernym ekskavatorem: dis. ... d-ra tekhn. nauk* [Scientific foundations of the system for reducing the risks of failures when operating a quarry excavator. Doctoral dissertation]. Yekaterinburg, 2020, 292 p. EDN IFCXZX.
16. Available at: <http://www.zetlab.ru/>
17. Lagunova Yu.A., Makarova V.V., Nabiullin R.Sh. Analysis of methods for diagnosing the condition of metal structures using the example of excavator construction. *Gornoje oborudovanie i elektromekhanika* [Mining equipment and electromechanics], 2022;(6(164)):17-25. DOI: 10.26730/1816-4528-2022-6-17-25 (In Russ.)

Поступила 27.05.2025; принята к публикации 23.07.2025; опубликована 30.09.2025  
Submitted 27/05/2025; revised 23/07/2025; published 30/09/2025

**Ситдикова Светлана Валерьевна** – старший преподаватель,  
Уральский государственный горный университет, Екатеринбург, Россия.  
Email: siriniti.86@mail.ru

**Великанов Владимир Семенович** – доктор технических наук, профессор,  
Уральский государственный горный университет, Екатеринбург, Россия;  
Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия.  
Email: rizhik\_00@mail.ru ORCID 0000-0001-5581-2733

**Строганов Юрий Николаевич** – кандидат технических наук, доцент,  
Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия.  
Email: iu.n.stroganov@urfu.ru ORCID 0009-0007-4203-6748

**Чернухин Станислав Алексеевич** – кандидат технических наук, доцент,  
Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург;  
Уральский государственный горный университет, Екатеринбург, Россия.  
Email: Stas\_chernuhin@mail.ru ORCID 0000-0003-3423-6129

**Svetlana V. Sitedkova** – Senior Lecturer,  
Ural State Mining University, Yekaterinburg, Russia.  
Email: siriniti.86@mail.ru

**Vladimir S. Velikanov** – DrSc(Eng.), Professor,  
Ural State Mining University, Yekaterinburg, Russia;  
Ural State Agrarian University, Yekaterinburg, Russia;  
Email: rizhik\_00@mail.ru 0000-0001-5581-2733

**Yuri N. Stroganov** – PhD(Eng.), Associate Professor,  
Ural Federal University named after the First President of Russia B. N. Yeltsin, Yekaterinburg, Russia.  
Email: iu.n.stroganov@urfu.ru ORCID 0009-0007-4203-6748

**Stanislav A. Chernukhin** – PhD (Eng.), Associate Professor,  
Ural State Mining University, Yekaterinburg, Russia;  
Ural Federal University named after the First President of Russia B. N. Yeltsin, Yekaterinburg, Russia.  
Email: Stas\_chernuhin@mail.ru ORCID 0000-0003-3423-6129