ГИАБ. Горный информационно-аналитический бюллетень /
MIAB. Mining Informational and Analytical Bulletin, 2025;(12-3):152–167
ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ / ORIGINAL PAPER

УДК 621.879.3 DOI: 10.25018/0236_1493_2025_123_0_152

ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ И РЕМОНТ КАРЬЕРНЫХ ЭКСКАВАТОРОВ ПО РЕГЛАМЕНТУ С УЧЕТОМ ФАКТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ И РЕЖИМОВ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

О. У. Хамидов[1], Д. А. Шибанов[1]

[1] Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, Санкт-Петербург, Россия, khamidovoybek417@gmail.com

Аннотация: раскрываются вопросы взаимосвязи нагрузок в фактических условиях и режимах эксплуатации и обеспечения готовности карьерных экскаваторов в существующей системе технического обслуживания и ремонта. Анализируется несоответствие фактической интенсивности расходования ресурса экскаваторов регламентным межремонтным интервалам, разработанным заводом-изготовителем для базовых условий эксплуатации. На основании данных, полученных в ходе натурного эксперимента на карьерах России и Узбекистана, установлено, что на интенсивность расходования ресурса основное влияние оказывают фактические нагрузки приводов экскаватора, которые определяются профилем траектории движения ковша в забое. Даны обоснованные предложения по обеспечению режимов работы экскаватора при работе, в которых интенсивность расходования ресурса будет соответствовать базовым значениям, что приведет к соответствию плановых параметров ремонтного цикла регламентным параметрам завода-изготовителя. Рациональное сочетание скоростей приводов подъема и напора, а также профиля траектории движения ковша позволяет обеспечить заполнение ковша при номинальных усилиях без перегрузки приводов и достичь целевых показателей по среднему циклу экскавации. Полученные данные являются основой для разработки рекомендаций по режимным параметрам набора горной массы для различных условий эксплуатации. Результаты исследования могут быть использованы при разработке цифровых двойников карьерных экскаваторов.

Ключевые слова: карьерный экскаватор, условия эксплуатации, техническое обслуживание и ремонт, траектория ковша в забое, интенсивность расходования ресурса, ремонтный цикл.

Для цитирования: *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. – С. 152–167. DOI: 10.25018/0236_1493_2025_123_0_152.

Regulated maintenance and repair of quarry excavators considering real-world conditions and operating modes

O. U. Khamidov[1], D. A. Shibanov[1]

[1] Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University, Saint-Petersburg, Russia, khamidovoybek417@gmail.com

Abstract: The article addresses the interrelation between operational loads under actual working conditions and the availability of mining excavators within the framework of the current maintenance and repair (MRO) system. It highlights a mismatch between the actual intensity of resource consumption and the maintenance intervals recommended by equipment manufacturers for standard (baseline) operating conditions. Based on field data collected from quarries in Russia and Uzbekistan, the study establishes that the primary factor influencing resource consumption is the actual load on excavator drives, which is determined by the bucket trajectory during rock excavation. The authors propose a set of substantiated operational adjustments aimed at aligning actual resource consumption rates with those defined under baseline conditions. Such alignment ensures conformity of the repair cycle parameters with the manufacturer's specifications. A rational combination of hoisting and crowding drive speeds, along with an optimized bucket trajectory, enables efficient bucket filling under nominal loads, thereby preventing drive overloads and ensuring compliance with target values for the average excavation cycle time. The findings serve as a foundation for developing operating mode recommendations for various mining conditions and can be effectively utilized in the creation of digital twins for quarry excavators.

Key words: Quarry excavator, actual operating conditions, maintenance and repair, bucket trajectory, resource consumption intensity, maintenance interval, repair cycle.

For citation: Khamidov O. U., Shibanov D. A. Regulated maintenance and repair of quarry excavators considering real-world conditions and operating modes. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2025;(12-3):152–167. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2025_123_0_152.

Введение

Эффективность карьерных экскаваторов, как основного технологического оборудования по выемке горной массы на карьерах по добыче полезных ископаемых открытым способом, определяется достижением ими целевых показателей по отгрузке горной массы и себестоимостью ее экскавации [1–3]. Ключевыми затратами при формировании себестоимости экскавации являются затраты на поддержание оборудования в работоспособном состоянии, а именно запасные части, расходные материалы, работы по плановому техническому обслуживанию и ремонту (ТОиР) и работы по ликвидации аварийных отказов. Аварийные отказы не могут быть запланированы и соответственно к ним не может быть реализована подготовка, что влечет за собой кратное увеличение времени в ремонте и стоимости работ [4–6]. Управление техническим состоянием парка экскаваторов посредством корректного управления его ТОиР является эффективным направлением повышения целевых показателей производительности и снижения издержек. Создание современной и эффективной системы ТОиР, учитывающей условия и режимы эксплуатации оборудования, позволяет предприятию высвободить средства на обновление и модернизацию парка оборудования [7–9].

Карьерные экскаваторы проектируются заводом-изготовителем с учетом номинальной интенсивности расходования ресурса при базовых режимах и условиях эксплуатации, для них же разрабатывается регламент ТОиР.

В качестве базовых для ремонтного цикла экскаваторов с ковшом типоразмера 20–25 м^3 приняты условия нормального забоя при экскавации пород III категории с рыхлением взрывом (табл. 1): средний размер кусков горной массы в ковше — не более 300 мм; наибольший размер крупных кусков при номинальных режимах работы рабочего оборудования — не более 900 мм и не более 2 на ковш [10–12]. Данные

Таблица 1

Параметры ремонтного цикла экскаваторов ЭКГ-20К/20КМ в базовых условиях и режимах эксплуатации[1]

Overhaul Cycle Parameters for EKG-20K/20KM Excavators under Base Conditions and Operating Modes1

Вид техобслуживания, ремонта	Ежесменное обслуживание	Ежемесячное обслуживание	Сезонное обслуживание	Текущий ремонт первый (квартальный)	Текущий ремонт второй (полугодовой)	Текущий ремонт третий (годовой)	Капитальный ремонт	Капитальный ремонт эл. части
	$ТО_{см}$	$ТО_{м}$	$ТО_{с}$	$ТР_{1}$	$ТР_{2}$	$ТР_{3}$	К	$К_{эл}$
Периодичность по наработке, млн. м³.				1,5	3,0	6	60	9
Периодичность календарная, мес.		1	6	3	6	12	120	60
Периодичность, ч.		500÷600	3000÷3600	1500÷1800	3000÷3600	6000÷7500	60000÷75000	30000÷36000
Трудоемкость, чел-ч.	1	96	96	300	600	1600	15000	1500
Время в ремонте, ч.	0,5÷1	24	24	60	96	240	2400	360

[1] Экскаватор карьерный гусеничный ЭКГ-20К. Руководство по эксплуатации. 3549.00.00.000 РЭ. Том 1. — Колпино: ООО «ИЗ-КАРТЭКС имени П. Г. Коробкова», 2013. — 113 с. — Инв. № 104509.

условия характерны для угольных месторождений и хорошо подготовленной полускальной вскрыши. Ремонт предусматривается оригинальными запасными частями и рекомендованными заводом-изготовителем материалами.

Базовые режимы эксплуатации экскаватора определяются эргатическим фактором управления, т.е. квалификацией машиниста и его способностью управлять экскаватором с номинальными нагрузками главных приводов при разработке забоя при достижении целевых показателей производительности машины (производительность, среднее время цикла экскавации) [13–15].

В зависимости от качества подготовки пород к выемке, категории пород по трудности экскавации и их свойств, а также общего состояния забоя фактический ремонтный цикл, а именно периодичность и трудоемкость видов ТОиР, а также наработку на отказ основных деталей и узлов рекомендуется уточнять в соответствии с условиями и режимами эксплуатации. Разработка объективных и обоснованных рекомендаций по изменению параметров ремонтного цикла в зависимости от фактических условий и режимов эксплуатации карьерных экскаваторов является актуальной задачей [16–18].

Материалы и методы исследования

Материалы и данные, использованные при выполнении исследования, сформированы на основании результатов мониторинга технического состояния и режимов эксплуатации электрических карьерных экскаваторов, эксплуатируемых на горнодобывающих

предприятиях Российской Федерации и Республики Узбекистан. В качестве первичной информации использованы сведения о фактической наработке машин, графики планово-предупредительного ТОиР (ППР), данные производственного контроля, записи аварийных отказов, а также информация о технологических и организационных простоях оборудования [19–20].

Анализ исходных данных осуществлялся с использованием инструментов статистической обработки на основе многолетней базы данных по отказам. Полученные данные были систематизированы с распределением по характеру и причинам возникновения.

Оценка режимов экскавации проводилась на основе данных натурного эксперимента с фиксацией положения ковша в забое и профиля траектории его движения при наборе горной массы. При этом качество забоя удовлетворяет требованиям ОСТ-24.072.11, отсутствуют негабариты и не взорванные участки.

Установление взаимосвязи между параметрами фактической траектории набора горной массы и нагрузками на приводы подъемного и напорного механизмов осуществлялось на основе покадрового анализа видеозаписи рабочего цикла. Для каждого кадра определялась величина заглубления ковша в развал горной массы и координаты его положения во времени. В качестве наблюдаемого признака предельной нагрузки приводов рассматривались участки цикла, на которых при значительной величине заглубления ковша приращение вертикальной координаты стремится к нулю в течении ряда последовательных кадров видеозаписи. Такие участки интерпретировались как заклинивание ковша в забое и свидетельство работы приводов в стопорном режиме.

Выводы об особенностях режимов работы экскаватора и характере их влияния на интенсивность расходования ресурса сделаны на основе анализа и сравнения фактической траектории с рекомендованной заводом-изготовителем по ряду признаков: наличию и длительности стопорных режимов, а также доле цикла, реализуемой при повышенной величине заглубления ковша.

Результаты

Для обеспечения работоспособности парка экскаваторов, своевременной замены быстроизнашиваемых деталей, восстановления ресурса узлов и агрегатов машины и поддержания рабочих характеристик в заданном диапазоне ремонтными подразделениями ГОКов разрабатываются годовые графики ремонтов по регламенту, рекомендованному заводом-изготовителем или скорректированному по нормативам принятым на предприятии на основании данных, накопленных в процессе эксплуатации техники [21–23].

Фактические условия эксплуатации во многом отличаются от базовых, которые предусмотрены ремонтно-эксплуатационной документацией. Регламент не учитывает индивидуальные особенности работы горных машин и оборудования, в то время как при эксплуатации на интенсивность расходования ресурса влияют различные факторы, такие как качество подготовки забоя и горной массы, эргатический фактор управления, техническое обслуживание, ремонт, организация работ и прочее [24–26].

При планировании графика ТОиР парка экскаваторов, при изменении параметров рекомендованного заводом изготовителем ремонтного цикла, обычно учитываются только условия эксплуатации, определяемые катего-

рией горных пород, прочим же факторам, влияющим на интенсивность расходования ресурса, не уделяется достаточного внимания. В таблице 2 приведен пример поправочных коэффициентов условий эксплуатации. Данные коэффициенты разработаны НИИОГР и рекомендуется заводом-изготовителем в нормативно-справочной документации для корректировки межремонтных интервалов при планировании ТОиР в условиях эксплуатации отличных от базовых [27].

Служба главного механика эксплуатирующего предприятия должна обеспечивать высокий уровень технической готовности горного оборудования, предупреждение его отказов в процессе эксплуатации, осуществляя систему планово-предупредительного ТОиР, обеспечивающую наилучшие условия планирования ремонтных работ. В зависимости от фактических условий эксплуатации допускается корректировка межремонтных интервалов. При эксплуатации машины в более легких условиях в сравнении с базовыми, ресурс будет расходоваться менее интенсивно, таким образом, ТОиР необходимо проводить с увеличенными межремонтными интервалами, а при эксплуатации в более тяжелых условиях — с уменьшенными межремонтными интервалами. При применении данного подхода достигаются наилучшие условия планирования ТОиР оборудования. Для повышения уровня готовности техники передовые и перспективные горнодобывающие предприятия инвестируют в развитие ремонтной службы, которое заключается в переходе к стратегии обслуживания по фактическому состоянию [28–30]. Несмотря на все передовые возможности ремонтных служб (диагностические средства и комплексы,

Таблица 2
Коэффициент условий эксплуатации [27]
Operating Conditions Factor [27]

Группа условий (категория)	Условия эксплуатации	Значения коэффициентов
А (I и II)	Мягкие и плотные породы I и II категории, допускающие эксплуатацию непосредственно из целика без применения взрывных работ: растительный грунт, торф, песок, легкие суглинки, лёсс, гравий, галька, солончаки, а также породы в отвалах и навалах любой категории	0,8
Б (III)	Полускальные породы III категории, требующие частичного рыхления для обеспечения экскавации: тяжелые жирные ломовые глины, глинистые сланцы, отвердевший лёсс, сланцы, уголь, аргиллиты, алевролиты, слабые песчаники на глинистом цементе, мерзлые породы I и II категории.	1,0
В (IV)	Скальные породы IV категории, экскавация которых возможна только после сплошного рыхления взрыванием, песчаники на известковом, кварцевом или железистом цементе.	1,2
Г (IV и V)	Доломиты, граниты, конгломераты, а также мерзлые породы III категории Скальные породы IV и V категории, плохо поддающиеся рыхлению; горные породы в районах крайнего севера.	1,5

электронные программы управления и планирования ТОиР, системы оценки рисков при проведении ТОиР, программные комплексы по управлению жизненным циклом машин и т.д.), доля аварийных ремонтов в ряде случаев составляет более 50% всего времени в ремонте.

За многолетний период мониторинга технического состояния, условий и режимов работы электрических карьерных экскаваторов большой единичной мощности российских производителей, анализа организации и опыта проведения ТОиР на горнодобывающих предприятиях России и Узбекистана можно утверждать, что доля аварийных ремонтов сведена к минимуму в условиях и режимах эксплуатации, близких к базовым, и в среднем по году составляет не более 25% (рис. 1). Данный показатель может быть снижен за счет приведения фактической интенсивности расходования ресурса базовым значениям, что приводит к повышению эффективности ТОиР в части соответствия планируемых параметров ремонтного цикла с регламентным.

Проведена оценка эффективности системы ТОиР экскаваторов с ковшом 20 м^3 на одном из крупнейших железорудных карьеров России на основе анализа простоев экскаватора.

Основными категориями простоев оборудования являются: технические плановые; технические неплановые (аварийные); технологические плановые; технологические неплановые.

В «технические плановые» отнесены простои, связанные с проведением ТОиР механического и электрического оборудования согласно регламенту и годовому графику ремонтов, а также простои при проведении капитальных ремонтов.

В «технические неплановые (аварийные)» отнесены простои, связанные с устранением аварийных отказов.

В «технологические плановые» отнесены организационные простои, связанные с проведением следующих работ на ГОКе: перестройка ЛЭП, переключение кабеля, простои во время приёма-сдачи смены, зачистки забоя, проведения взрывных работ, маркшейдерской съемки и т.д. Также в эту категорию отнесены простои, связанные с переводом машины в резерв, и иные простои по обеспечению функционирования карьера.

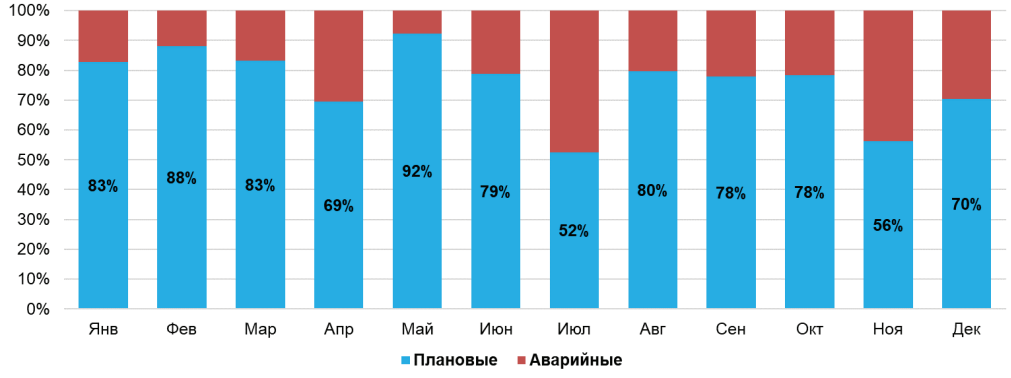

Рис. 1. Динамика времени в ремонте парка экскаваторов карьера по добыче руд цветных металлов р. Узбекистан (материалы авторов)
Fig. 1. Repair Time Dynamics for the Excavator Fleet at a Non-Ferrous Metals Mine in Uzbekistan (based on the authors' data)

В «технологические неплановые» отнесены организационные простои, связанные с неэффективным планированием, аварийными ситуациями и погодными условиями, а именно: отсутствие топлива, отсутствие фронта работ, отсутствие подъездных путей, ожидание транспорта, прочие работы в забое, аварийное отключение ЛЭП, авария на подстанции и др.

Применяемые на ГОКе нормативы и стандарты по ТОиР соответствуют комбинированной стратегии ТОиР оборудования и регламентируют порядок организации и проведения технического обслуживания, текущих и капитальных ремонтов. Основой для проведения ТОиР является утвержденный годовой график ремонтов парка экскаваторов, который разработан на основе рекомендаций завода-изготовителя и скорректирован согласно фактическим условиям эксплуатации.

Основой для разработки годовых графиков ремонтов является следующая информация: регламентные нормативы завода-изготовителя; структура ремонтного цикла; условия эксплуатации; наработка оборудования на начало планируемого периода; данные о ранее выполненных ремонтах; целевые показатели производительности на планируемый период; информация о техническом состоянии оборудования.

На ГОКе ведется постоянный мониторинг технического состояния экскаваторного парка, учет фактического выполнения мероприятий ТОиР, мониторинг эффективности проведения ТОиР, периодическая диагностика и неразрушающий контроль оборудования и иные мероприятия, направленные на повышение надежности основного технологического оборудования. Несмотря на высокий уровень организационного развития системы ТОиР и современного аппаратного, программного и информационного оснащения ремонтной службы, в отдельные месяцы после проведения планового ремонта, в том числе крупного по объему работ, наблюдается отрицательная корреляционная связь аварийных простоев и проведенных плановых ТОиР (рис. 2). Данный факт свидетельствует о недостаточной эффективности системы ТОиР, а именно малом объеме, несвоевременном проведении и качестве выполненных ремонтных работ.

По отчетным данным ГОКа основной причиной простоев и соответственно уменьшения времени в работе экскаваторов и целевых показателей производительности парка экскаваторов являются отказы основных элементов конструкции экскаваторов: рабочего оборудования, поворотной платформы и ходовой тележки. Основ-

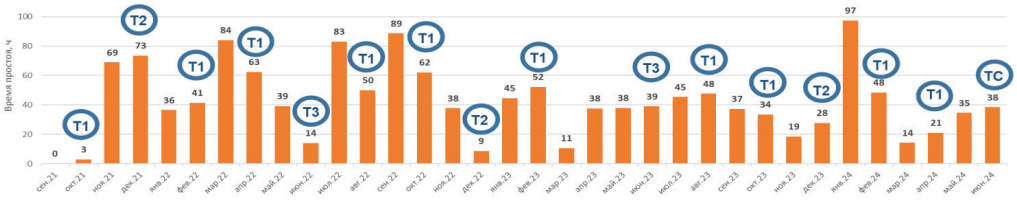

Рис. 2. Динамика времени аварийных ремонтов (материалы авторов): T1 — текущий ремонт квартальный, T2 — текущий ремонт полугодовой, T3 — текущий ремонт годовой, TC — текущий ремонт средний

Fig. 2. Dynamics of Emergency Repair Time (based on the authors' data): T1 — Quarterly Maintenance Repair, T2 — Semi-Annual Maintenance Repair, T3 — Annual Maintenance Repair, TC — Average Maintenance Repair

ной причиной данных отказов является выработка ресурса этими узлами. Наличие конструктивного или производственного дефекта узлов и деталей исключается, так как рассмотренные отказы не являются единичными случаями и имеют систематический характер во времени.

На практике при построении эффективной системы ТОиР снижение времени аварийных ремонтов может быть достигнуто минимизацией отклонения фактически проведенных ремонтных работ от плана. Одной из причин низкого исполнения плановых ремонтных работ и технического обслуживания является отсутствие согласования остановок между службами ГОКа из-за невыполнения целевых показателей по погрузке горной массы, которое вызвано низкими показателями готовности экскаваторов по причине их аварийных отказов. Таким образом, образуется замкнутая цепь принятия ошибочных решений в управлении техническим состоянием парка карьерных экскаваторов. Наличие риска недостижения целевых показателей производительности приводит к снижению объемов и качества производимых ремонтных работ, а также переносу планового ТОиР на более отдаленную дату, что в свою очередь ведет к увеличению вероятности возникновения отказов. Смещение сроков остановки оборудования на плановый ремонт легко обосновывается оптимизацией сроков и объемов работ с целью равномерной загрузки ремонтных предприятий в течение планируемого периода, а также согласованием с производственным планом по отгрузке горной массы и другими причинами.

Стратегия обслуживания по фактическому состоянию оборудования способна обеспечить корреляцию планируемых работ интенсивности расходования ресурса каждой отдельной единицы оборудования, соответствие плановых показателей ТОиР и их фактического выполнения, минимизировать аварийные отказы и, как результат, достичь целевых показателей производительности машины. Однако стратегия обслуживания по фактическому состоянию эффективна для ограниченного количества экскаваторов в парке, иначе складывается ситуация, когда необходимость проведения ремонтных работ на нескольких экскаваторах одновременно превышают возможности ремонтной службы, что ставит под удар всю систему обслуживания.

Организация управления техническим состоянием карьерных экскаваторов на основе стратегии обслуживания по регламенту при формальном подходе к периодичности не рациональна и не исключает вероятность аварийных отказов. Идея, что остаточный ресурс механизма определяется только временем его эксплуатации, не находит подтверждения на практике.

Эффективность системы обслуживания по регламенту возможно обеспечить при отсутствии отклонений фактически произведенных работ по периодичности и объемам ТОиР от запланированных, при эксплуатации с режимами и параметрами работы главных приводов с нагрузками в диапазоне базовых значений.

Основным условием эффективного управления техническим состоянием экскаваторов и выполнения целевых показателей производительности является минимизации отклонения фактически выполненных ремонтных работ по срокам и объему от запланированных с учетом интенсивности расходования ресурса. При планировании графика ТОиР следует учитывать не только горно-геологические условия работы экскаватора, но и режимные параме-

тры работы, определяемые нагрузкой на приводах подъема и напора, которые являются производной от скорости набора горной массы и величины заглубления ковша в развал забоя.

Согласно требованиям нормативно-технической документации завода-изготовителя рациональный и наиболее эффективный режим набора горной массы карьерным экскаватором обеспечивается при согласованном действии приводов напора и подъема с номинальной нагрузкой, ковш двигается эквидистантно линии забоя на всю высоту уступа с заданными параметрами для профиля траектории фактических условий эксплуатации. Такой подход обуславливает равномерную загрузку ковша на рациональной траектории, отсутствие перегрузок и стопорных режимов.

С учётом вышеизложенного, в тяжелых условиях эксплуатации карьерных экскаваторов целесообразно обеспечить равномерное и контролируемое заглубление ковша в развал горной массы, в отдельных случаях со снижением скорости заполнения ковша для удержания нагрузок в номинальных режимах, соответствующих базовой интенсивности расходования ресурса. Таким образом, интенсивность расходования заложенного в конструкцию ресурса будет соответствовать базовым значениям, что приведет к соответствию плановых параметров ремонтного цикла регламентным параметрам завода-изготовителя. Из этого следует что, фактические значения параметров ремонтного цикла будут соответствовать рекомендуемым значениям по регламенту завода-изготовителя. Таким образом, может быть обеспечено фактическое выполнение работ по ТОиР без отклонения от плана со снижением доли внезапных отказов при достаточном качестве производимых работ. Для достижения данной цели необходима мотивация и стимулирование машинистов работе с рациональной техникой набора горной массы при номинальных нагрузках приводов.

Результаты проведенных экспериментальных наблюдений за погрузкой горной массы экскаваторами типа ЭКГ с ковшом 20 м^3 в автосамосвал грузоподъемностью 220 т показаны на рис. 3. Фиксировалось изменение положения ковша в забое по глубине внедрения в развал и по высоте уступа.

Особенности управления процессом набора горной массы характеризуются кривизной профиля траектории движения ковша и величиной заглубления его в забое в совокупности со скоростью их изменения, формируют нагрузки главных приводов и режимы его работы в целом [31–33].

По характеру изменения профиля траектории ковша в забое следует, что машинист экскаватора в стремлении сократить время набора горной массы заглубляет ковш в забой на максимальную величину по усилию напора. Точка 0 соответствует началу копания, т.е. точки пересечения подошвы уступа и условной проекции забоя. Величина заглубления определяется как разность абсцисс координаты условной проекции забоя и положения ковша в развале забоя. Глубина внедрения ковша достигает величины до 1,5 м, что соответствует половине его геометрических размеров. При таких величинах заглубления нагрузка на привод подъема превышает допустимые значения, возникают стопорные режимы и перемещение ковша по забою не происходит. При выборе машинистом не рациональной траектории копания за один цикл набора горной массы возникает до 3-х стопорных режимов (рис 3). Для выхода из этих режимов, машинист вынужден напором отводить ковш назад, снижая величину заглубления

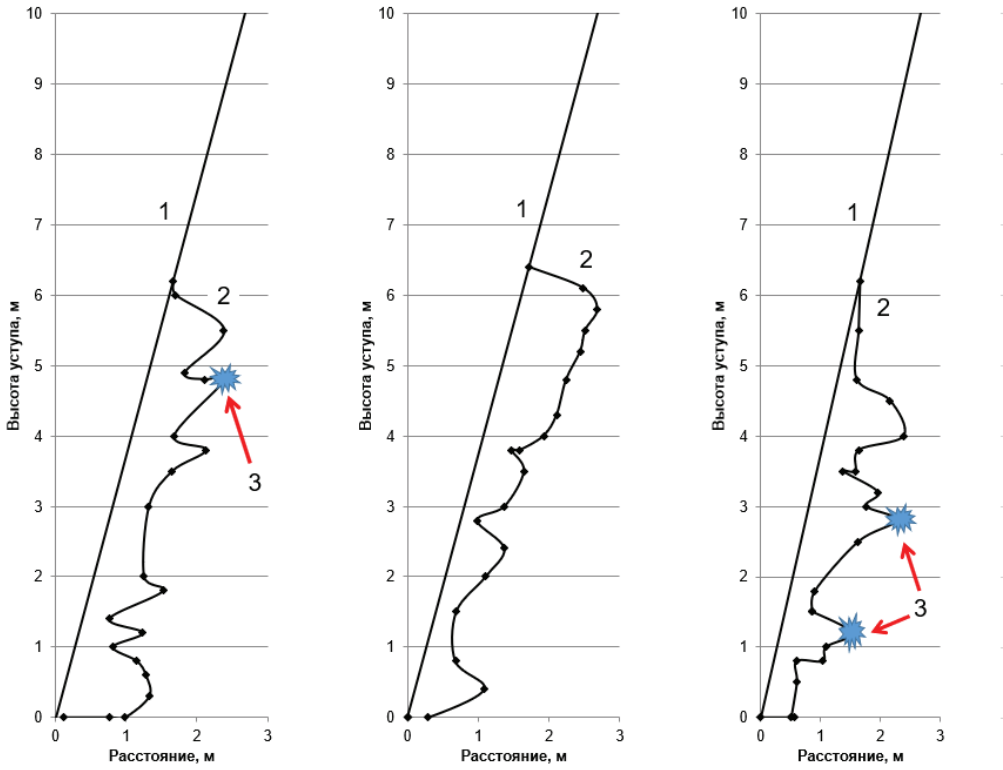

Рис. 3. Профиль траектории ковша экскаватора при наборе горной массы (материалы авторов): 1 — условная проекция забоя; 2 — профиль траектории ковша; 3- возникновение стопорного режима
Fig. 3. Bucket Trajectory Profile During Ore Loading (based on the authors' data): 1 — projected face boundary; 2 — bucket trajectory profile; 3 — stall condition occurrence

с одновременным опусканием на некоторую величину, тем самым частично снижая нагрузку на привод.

Набор горной массы с частыми вынужденными «откатами» сопровождается потерей части зачерпнутой в ковш породы, увеличением продолжительности цикла и снижением общей эффективности процесса экскавации. Более подробно этот вопрос рассмотрен в статье [34]. Меньшая глубина внедрения приводит к снижению усилия копания (нагрузки), но при этом есть риск недостаточного заполнения ковша.

Основные режимы работы экскаватора определяются скоростями и усилиями приводов подъёма и напора, профилем траектории движения ковша и величиной его заглубления [35–37]. Рациональное сочетание этих параметров позволяет обеспечить заполнение ковша при номинальных усилиях без перегрузки приводов и достичь целевых показателей по среднему времени погрузки самосвала, цикла экскавации и производительности.

Выводы

Эффективность системы технического обслуживания и ремонта карьерных экскаваторов определяется соответствием фактической интенсивности расходования ресурса установленным межремонтным интервалам. Выявлено,

что существенную долю аварийных простоев формирует несоответствие фактической интенсивности расходования ресурса принятым регламентам.

Определяющим фактором интенсивности расходования ресурса являются нагрузки приводов подъёма и напора, формирующиеся при реализации конкретных режимов работы, которые характеризуются профилем траектории движения ковша и величиной его заглубления в развал горной массы. Показано, что иррациональные траектории набора горной массы с чрезмерным заглублением ковша обусловливают возникновение стопорных режимов, перегрузку приводов, потерю части породы из ковша и увеличение продолжительности цикла экскавации.

Предлагается осуществлять мониторинг режимов работы экскаватора по величине заглубления ковша в забой и скорости набора горной массы, для приведения фактических нагрузок на приводах рабочего оборудования к номинальным значениям. При таком подходе интенсивность расходования заложенного в конструкцию экскаватора ресурса сохраняется на уровне базовых значений, что обеспечивает соответствие фактических параметров ремонтного цикла регламентным значениям завода-изготовителя.

Современный экскаваторный привод позволяет программировать ограничивающие условия его работы. Требуется алгоритм ограничения нагрузки по скорости подъема и по напорному усилию в зависимости от положения ковша экскаватора в забое, с учетом фактических условий эксплуатации. Результаты проведенного исследования являются основой для разработки практических рекомендаций по выбору режимных параметров набора горной массы в различных условиях эксплуатации и формирования алгоритмов ограничения нагрузки по скорости подъёма и по напорному усилию в зависимости от положения ковша в забое. Реализация таких алгоритмов с использованием технологий машинного обучения и адаптивного управления позволит приблизиться к созданию цифровых двойников карьерных экскаваторов и экскаваторов-роботов.

Вклад авторов:

Шибанов Д. А. — генерация идеи; постановка задачи исследования; написание текста статьи.

Хамидов О. У. — подготовка данных; систематизация материала; анализ результатов исследования; написание текста статьи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Великанов В. С.*, *Чернухин С. А.*, *Тельминов Н. С.*, *Дремин А. В.*, *Ломовцева Н. В.*, *Ситдикова С. В.* О влиянии гранулометрии взорванной горной массы на распределение напряжений в рабочем оборудовании карьерного экскаватора // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова. — 2024. — Т. 22. — № 4. — С. 30–43. DOI: 10.18503/1995-2732-2024-22-4-30-43.

2. *Хорешок А. А.*, *Дубинкин Д. М.*, *Марков С. О.*, *Тюленев М. А.* Об изменении эффективной производительности экскаваторов при использовании карьерных самосвалов с различной вместимостью кузова // Вестник Кузбасского государственного технического университета. — 2021. — № 6 (148). — С. 85–93. DOI: 10.26730/1999-4125-2021-6-85-93

3. *Журавлёв А. Г.*, *Глебов И. А.*, *Черепанов В. А.* К вопросу повышения производительности и технической готовности мощных отечественных экскаваторов // Проблемы недропользования. — 2023. — № 4. — С. 76–88. DOI: 10.25635/2313-1586.2023.04.076

4. *Герике П. Б.*, *Герике Б. Л.*, *Шахманов В. Н.* Выбор и обоснование критерия для диагностики несоосности валопроводов карьерных экскаваторов // Техника и технология горного дела. — 2021. — № 3 (14). — С. 50–60. DOI: 10.26730/2618-7434-2021-3-50–60

5. *Сафиуллин Р. Н.*, *Кацуба Ю. Н.*, *Унгефук А. А.*, *Хисамутдинова Э. Л.*, *Хохлов А. В.* Бутстрэп-метод мониторинга безопасности систем управления движением высокоавтоматизированных горных машин // Горная промышленность. — 2025. — № 1S. — С. 73–80. DOI: 10.30686/1609-9192-2025-1S-73–80

6. *Ковалев М. А.*, *Москвичев В. В.* Надежность карьерных экскаваторов на угольных разрезах Кузбасса // Целостность и ресурс в экстремальных условиях. — 2024. — № 1. — С. 300–303. DOI: 10.24412/cl-37269–2024–1-300–303

7. *Canelón R.*, *Carrasco C.*, *Rivera F.* Design of a remote assistance model for truck maintenance in the mining industry // Journal of Quality in Maintenance Engineering. — 2024. — Т. 30. — № 1. — С. 175–201. DOI: 10.1108/JQME-02–2023–0024

8. *Fedorova E. R.*, *Morgunov V. V.*, *Pupysheva E. A.* Effect of variation of internal diameter along the length of a rotary kiln on material movement // Non-ferrous Metals. — 2024. — С. 28–34. DOI: 10.17580/nfm.2024.01.05

9. *Фомин С. И.*, *Лелен А.* Совершенствование методов определения потерь руды при проектировании разработки месторождения цементного сырья комбайнами послойного фрезерования // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. — 2024. — Т. 335. –№ 2. — С. 202–208. DOI: 10.18799/24131830/2024/2/4203

10. *Грабский А. А.*, *Сергеев В. Ю.*, *Грабская Е. П.* Обоснование выбора стратегии технического обслуживания и ремонтов карьерных экскаваторов // Уголь. — 2021. — № 2. — С. 14–17. DOI: 10.18796/0041-5790-2021-2-14–17

11. *Fedorova E. R.*, *Morgunov V.*, *Lobko K.*, *Pupysheva E. A.* Review: Axial motion of material in rotary kilns // Eng. — 2025. — Т. 6. — С. 106. DOI: 10.3390/eng6060106

12. Babaei *Khorzoughi M.*, *Hall R.* A study of digging productivity of an electric rope shovel for different operators // Minerals. — 2016. — Т. 6. — С. 48. DOI: 10.3390/min6020048

13. *Лукашук О. А.*, *Летнев К. Ю.*, *Лукашук М. Д.* Идентификация положения ковша карьерного экскаватора в забое // Актуальные проблемы повышения эффективности и безопасности эксплуатации горношахтного и нефтепромыслового оборудования. — 2019. — Т. 1. — С. 14–20. EDN LFMGPU

14. *Cheremisina O. V.*, *Balandinsky D. A.*, *Gorbacheva A. A.*, *Lysenko M. R.*, *Yinzhou L.* Physicochemical features of action of ethoxylated esters of phosphoric acid with different degree of ethoxylation in conditions of froth flotation of apatite // Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects. — 2024. — Т. 708. — С. 135974. DOI: 10.1016/j.colsurfa.2024.135974

15. *Rakhutin M. G.*, *Tran V. H.*, *Krivenko A. V.*, *Giang Q.*Kh. Impact of the technical condition of main pumps on fuel consumption in a hydraulic excavator. Mining Science and Technology (Russia). — 2025. — №10(1). — С.67–74. https://doi.org/10.17073/2500-0632-2024-01–179

16. *Андреева Л. И.* Выбор стратегии ремонтного обслуживания горной техники // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. — 2021. — № 4. — С. 83–91. DOI: 10.21440/0536-1028-2021-4-83–91

17. *Агагена Абдельвахаб, 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. — С. 146–151. DOI: 10.26160/2658-3305-2024-24–146–151

18. *Андреева Л. И.*, *Абрамов С. В.* Выбор оптимального метода восстановления деталей экскаваторов на основе экономической целесообразности // Горное оборудование и электромеханика. — 2022. — № 6 (164). — С. 33–39. DOI: 10.26730/1816-4528-2022-6-33–39

19. *Адмакин М. А.*, *Адмакина О. Н.*, *Тимофеев Д. Ю.*, *Халимоненко А. Д.* Деформационные процессы при высокоскоростном фрезеровании алюминиевых сплавов // Цветные металлы. — 2025. — № 3. — С. 75–80. — DOI 10.17580/tsm.2025.03.11

20. *Kazanin O. I.*, *Ilinets A. A.* Ensuring the excavation workings stability when developing excavation sites of flat-lying coal seams by three workings. Journal of Mining Institute. 2022. Vol. 253, p. 41–48. DOI: 10.31897/PMI.2022.1

21. *Мадьяров Д. А.* Исследование обслуживания и ремонта оборудования // Наука молодых — будущее России: сб. науч. ст. 6-й Междунар. науч. конф. перспективных разработок молодых ученых, Курск, 9–10 дек. 2021 г. Т. 5. — Курск: Юго-Западный государственный университет, 2021. — С. 97–100. — EDN NOAHJJ.

22. *Шешукова Е. И.*, *Шибанов Д. А.*, *Иванов С. Л.*, *Шишкин П. В.* Оценка нагрузок приводов рабочего оборудования карьерного экскаватора (часть 2) // Горная промышленность. — 2024. — № 4. — С. 108–114. DOI: 10.30686/1609-9192-2024-4-108–114

23. *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. — Т. 266. — С. 231–245. EDN RUUFNM.

24. *Бобобеков О. К.* Факторы, влияющие на производительность дорожно-строительных и коммунальных машин // Вестник гражданских инженеров. — 2015. — № 6(53). — С. 180–184.

25. *Annakulov T.*, *Gaibnazarov S.*, *Askarov A.*, *Mamadieva L.* Prospects for the use of cyclic-flow technology for the transportation of rocks at the Yoshlik-1 quarry of JSC Almalyk mining and metallurgical combine // E3S Web of Conferences. — 2023. — Т. 414. — С. 06007. DOI: 10.1051/e3sconf/202341706007

26. *Маринин М. А.*, *Рахманов Р. А.*, *Аленичев И. А.*, *Афанасьев П. И.*, *Сушкова В. И.* Изучение влияния гранулометрического состава взорванной горной массы на производительность экскаватора WK-35 // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2023. — № 6. — С. 111–125. DOI: 10.25018/0236_1493_2023_6_0_111

27. *Хорешок А. А.*, *Кудреватых А. В.*, *Ащеулов А. С.*, *Винидиктов А. В.*, *Кантович Л. И.* Увеличение ходимости редукторов мотор-колес карьерных самосвалов методом внедрения контроля фактического технического состояния. Горные науки и технологии. 2021;6(4):267–276. https://doi.org/10.17073/2500-0632-2021-4-267–276

28. *Курганов В. М.*, *Грязнов М. В.*, *Колобанов С. В.* Оценка надежности функционирования экскаваторно-автомобильных комплексов в карьере // Записки Горного института. — 2020. — Т. 241. — С. 10–21. DOI: 10.31897/PMI.2020.1.10

29. *Florea V. A.*, *Toderaș M.* Efficiency of maintenance activities in aggregate quarries: a case study of wear parts on loaders and excavators // Applied Sciences. — 2024. — Т. 14. — С. 7649. DOI: 10.3390/app14177649

30. *Макарова В. В.* Обзор и анализ применения методов диагностики напряженно-деформированного состояния элементов карьерных экскаваторов // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. — 2024. — № 1. — С. 48–60. DOI: 10.21440/0536-1028-2024-1-48–60

31. *Feng Y.*, *Wu J.*, *Lin B.*, *Guo C.* Excavating trajectory planning of a mining rope shovel based on material surface perception // Sensors. — 2023. — Т. 23(15). С. 6653. DOI: 10.3390/s23156653

32. *Meng Y.*, *Fang H.*, *Liang G.*, *Gu Q.*, *Liu L.* Bucket trajectory optimization under the automatic scooping of LHD // Energies. — 2019. — Т. 12(20). — С. 3919. DOI: 10.3390/en12203919

33. *Dunbabin M.*, *Corke P.* Autonomous excavation using a rope shovel // Journal of Field Robotics. — 2006. — Т. 23(6–7). — С. 379–394. DOI: 10.1002/rob.20132

34. *Хамидов О. У.*, *Шибанов Д. А.*, *Колпаков В. О.* Влияние особенностей набора горной массы карьерным экскаватором на его производительность // Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство. — 2024. — № 28. — С. 148–153. DOI: 10.26160/2658-3305-2024-28–148–153

35. *Великанов В. С.*, *Дремин А. В.*, *Лукашук О. А.*, *Чернухин С. А.*, *Лукашук М. Д.* Цифровая трансформация горнодобывающих предприятий и теротехнология наземных

транспортных средств // Горное оборудование и электромеханика. — 2024. — № 1 (171). — С. 50–56. DOI: 10.26730/1816-4528-2024-1-50–56.

36. *Wang X.*, *Sun W.*, *Li E.*, *Song X.* Energy-minimum optimization of the intelligent excavating process for large cable shovel through trajectory planning // Structural and Multidisciplinary Optimization. — 2018. — Т. 58. — С. 2219–2237. DOI: 10.1007/s00158-018-2017-0

37. *Lin G. Y.*, *Han H. Z.*, *Zhao J.*, *Li A. F.* Research on optimal excavating trajectory of large mining shovel. Advanced Materials Research. — 2014. — Т. 945. — С. 633–641. DOI:10.4028/www.scientific.net/AMR.945–949.633 МАБ

REFERENCES

1. Velikanov V. S., Chernukhin S. A., Telminov N. S., Dremin A. V., Lomovtseva N. V., Sitdikova S. V. On the influence of the granulometry of blasted rock mass on the stress distribution in the working equipment of a quarry excavator. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G. I. Nosova*. 2024; vol. 22, no. 4, pp. 30–43. [In Russ]. https://doi.org/10.18503/1995-2732-2024-22–4-30–43.

2. Khoreshok A. A., Dubinkin D. M., Markov S. O., Tyulenev M. A. On the change in effective performance of excavators when using mining dump trucks with different body capacities. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2021; no. 6(148):85–93. [In Russ]. https://doi.org/10.26730/1999-4125-2021-6-85–93

3. Zhuravlev A. G., Glebov I. A., Cherepanov V. A. On improving the productivity and technical readiness of powerful domestic excavators. *Problemy nedropolzovaniya*. 2023; no. 4:76–88. [In Russ]. https://doi.org/10.25635/2313–1586.2023.04.076

4. Gerike P. B., Gerike B. L., Shakhmanov V. N. Selection and justification of a criterion for diagnosing misalignment of shaft lines in quarry excavators. *Tekhnika i tekhnologiya gornogo dela*. 2021; no. 3(14):50–60. [In Russ]. https://doi.org/10.26730/2618-7434-2021-3-50–60

5. Safiullin R. N., Katsuba Yu. N., Ungefuk A. A., Khisamutdinova E. L., Khokhlov A. V. Bootstrap method for monitoring the safety of motion control systems of highly automated mining machines. *Mining Industry Journal*. 2025; no. 1S:73–80. [In Russ]. https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-1S-73–80

6. Kovalev M. A., Moskvichev V. V. Reliability of open-pit excavators at coal mines in Kuzbass. *Tselostnost i resurs v ekstremalnykh usloviyakh*. 2024; no. 1:300–303. [In Russ]. https://doi.org/10.24412/cl-37269–2024–1-300–303

7. Canelón R., Carrasco C., Rivera F. (2024). Design of a remote assistance model for truck maintenance in the mining industry. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, vol. 30, no. 1, pp. 175–201. https://doi.org/10.1108/JQME-02–2023–0024

8. Fedorova E. R., Morgunov V. V., Pupysheva E. A. Effect of variation of internal diameter along the length of a rotary kiln on material movement. *Non-ferrous Metals*. 2024; pp. 28–34. https://doi.org/10.17580/nfm.2024.01.05

9. Fomin S. I., Ljeljen A. Improvement of the methods for determining ore losses when designing cement raw material deposit mining by surface miner combines. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 2024, vol. 335, no. 2, pp. 202–208. https://doi.org/10.18799/24131830/2024/2/4203

10. Grabskiy A. A., Sergeev V. Yu., Grabskaya E. P. Substantiation of the choice of maintenance and repair strategy for open-pit excavators. *Ugol'*. 2021; no. 2:14–17. [In Russ]. https://doi.org/10.18796/0041-5790-2021-2-14–17

11. Fedorova E.R; Morgunov, V.; Lobko, K.; Pupysheva, E. Review: Axial Motion of Material in Rotary Kilns. *Eng*. 2025, 6, 106. https://doi.org/10.3390/eng6060106

12. Babaei Khorzoughi M., Hall R. A Study of Digging Productivity of an Electric Rope Shovel for Different Operators. *Minerals*. 2016; 6:48. https://doi.org/10.3390/min6020048

13. Lukashuk O. A., Letnev K. Yu., Lukashuk M. D. Identification of the bucket position of a quarry excavator in the face. *Aktual'nye problemy povysheniya effektivnosti i bezopasnosti*

ekspluatatsii gornoshakhtnogo i neftepromyslovogo oborudovaniya. 2019; vol. 1: pp. 14–20. [In Russ].

14. Cheremisina O. V., Balandinsky D. A., Gorbacheva A. A., Lysenko M. R., Yinzhou L. Physicochemical features of action of ethoxylated esters of phosphoric acid with different degree of ethoxylation in conditions of froth flotation of apatite. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 2024;708:135974. https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2024.135974

15. Rakhutin M. G., Tran V. H., Krivenko A. V., Giang Q.Kh. Impact of the technical condition of main pumps on fuel consumption in a hydraulic excavator. *Mining Science and Technology (Russia)*. 2025;10(1):67–74. https://doi. org/10.17073/2500-0632-2024-01–179

16. Andreeva L. I. Selection of maintenance strategy for mining equipment. Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedeniy. *Gornyi Zhurnal*. 2021; no. 4: 83–91. [In Russ.]. https://doi.org/10.21440/0536-1028-2021-4-83–91

17. Agagena Abdelvakhab, Repkina K. S., Mikhailov A. V. Adjustment of maintenance regulations for a quarry hydraulic excavator at the Bukhadra mine. *Transport, Mining and Construction Mechanical Engineering: Science and Production*. 2024; no. 24: 146–151. [In Russ.]. https://doi.org/10.26160/2658-3305-2024-24–146–151

18. Andreeva L. I., Abramov S. V. Choosing the optimal method for restoring excavator parts based on economic feasibility. *Mining Equipment and Electromechanics*. 2022; no. 6(164): 33–39. [In Russ]. https://doi.org/10.26730/1816-4528-2022-6-33–39

19. Admakin M. A., Admakina O. N., Timofeev D. Yu., Khalimonenko A. D. Deformation processes during high-speed milling of aluminum alloys. *Tsvetnye Metally*. 2025; no. 3: 75–80. [In Russ.] DOI 10.17580/tsm.2025.03.11

20. Kazanin O. I., Ilinets A. A. Ensuring the excavation workings stability when developing excavation sites of flat-lying coal seams by three workings. *Journal of Mining Institute*. 2022. Vol. 253, p. 41–48. https://doi.org/10.31897/PMI.2022.1

21. Madyarov D. A. Study of maintenance and repair of equipment. In: *Science of the Youth the Future of Russia*. Proceedings of the 6th International Scientific Conference of Promising Developments by Young Scientists (Kursk, December 9–10, 2021), vol. 5. Kursk: Southwest State University, 2021, pp. 97–100. [In Russ.]. EDN: NOAHJJ

22. Sheshukova E. I., Shibanov D. A., Ivanov S. L., Shishkin P. V. Assessment of loads at the working attachment of a mine shovel (Part 2). *Russian Mining Industry*. 2024; vol. 4: pp. 108–114. [In Russ.]. https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-4-108–114

23. Vinogradov Yu. I., Khokhlov S. V., Zigangirov R. R., Miftakhov A. A., Suvorov Yu. I. Optimization of specific energy consumption for rock blasting at deposits with complex geological structures. *Journal of Mining Institute*. 2024; vol. 266: pp. 231–245. [In Russ.]. EDN: RUUFNM

24. Bobobekov O. K. Factors affecting the performance of road construction and municipal machines. *Vestnik Grazhdanskikh Inzhenerov* [Bulletin of Civil Engineers]. 2015; vol. 6(53): pp. 180–184. [In Russ.].

25. Annakulov T., Gaibnazarov S., Askarov A., Mamadieva L. Prospects for the use of cyclic-flow technology for the transportation of rocks at the Yoshlik-1 quarry of JSC Almalyk mining and metallurgical combine. *E3S Web of Conferences*. 2023; 414:06007. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202341706007

26. Marinin M. A., Rakhmanov R. A., Alenichev I. A., Afanasyev P. I., Sushkova V. I. Effect of grain size distribution of blasted rock on WK-35 shovel performance. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2023; no. 6: pp. 111–125. [In Russ.]. https://doi.org/10.25018/0236_1493_2023_6_0_111

27. Khoreshok A. A., Kudrevatykh A. V., Ashcheulov A. S., Vinidiktov A. V., Kantovich L. I. Increasing life of pit dump truck motor-wheel gearboxes by introducing the monitoring of the actual technical condition. *Mining Science and Technology (Russia)*. 2021;6(4):267–276. [In Russ.] https://doi.org/10.17073/2500–0632- 2021–4-267–276

28. Kurganov V. M., Gryaznov M. V., Kolobanov S. V. Assessment of operational reliability of quarry excavator-dump truck complexes. *Journal of Mining Institute*. 2020; vol. 241: pp. 10–21. [In Russ.]. https://doi.org/10.31897/PMI.2020.1.10

29. Florea V. A., Toderaș M. Efficiency of maintenance activities in aggregate quarries: a case study of wear parts on loaders and excavators. *Applied Sciences*. 2024; vol. 14: pp. 7649. https://doi.org/10.3390/app14177649

30. Makarova V. V. Review and analysis of the application of methods for diagnosing the stress-strain state of open-pit excavator components. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Gorny zhurnal*. 2024; no. 1: pp. 48–60. [In Russ.]. https://doi.org/10.21440/0536-1028-2024-1-48–60

31. Feng Y., Wu J., Lin B., Guo C. Excavating trajectory planning of a mining rope shovel based on material surface perception. *Sensors*. 2023;23(15):6653. https://doi.org/10.3390/s23156653

32. Meng Y., Fang H., Liang G., Gu Q., Liu L. Bucket trajectory optimization under the automatic scooping of LHD. *Energies*. 2019; no. 12(20): pp. 3919. https://doi.org/10.3390/en12203919

33. Dunbabin M., Corke P. Autonomous excavation using a rope shovel. Journal of Field Robotics. 2006; no. 23(6–7): pp. 379–394. https://doi.org/10.1002/rob.20132

34. Khamidov O. U., Shibanov D. A., Kolpakov V. O. Influence of the peculiarities of rock mass loading by open-pit excavator on its productivity. *Transport, Mining and Construction Mechanical Engineering: Science and Production*. 2024; no. 28: pp. 148–153. [In Russ.]. https://doi.org/10.26160/2658-3305-2024-28–148–153

35. Velikanov V. S., Dremin A. V., Lukashuk O. A., Chernukhin S. A., Lukashuk M. D. Digital transformation of mining enterprises and terotechnology of ground transportation vehicles. *Mining Equipment and Electromechanics*. 2024; no. 1 (171): pp. 50–56. [In Russ.]. https://doi.org/10.26730/1816-4528-2024-1-50–56

36. Wang X., Sun W., Li E., Song X. Energy-minimum optimization of the intelligent excavating process for large cable shovel through trajectory planning. *Structural and Multidisciplinary Optimization*. 2018; no. 58: pp. 2219–2237. https://doi.org/10.1007/s00158-018-2017-0

37. Lin G. Y., Han H. Z., Zhao J., Li A. F. Research on optimal excavating trajectory of large mining shovel. *Advanced Materials Research*. 2014; no. 945: pp. 633–641. https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.945–949.633

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Хамидов Ойбек Улугбек угли[1] — аспирант, https://orcid.org/0009-0000-7636-479X, e-mail: khamidovoybek417@gmail.com;
Шибанов Даниил Александрович[1] — канд. техн. наук, доцент, https://orcid.org/0000-0002-6203-0219, e-mail: shibanov_da@pers.spmi.ru;
[1]Санкт-Петербургский горный университет, 199106, Санкт-Петербург, Васильевский остров, 21 линия, д.2, Россия.
Для контактов: *Хамидов О. У.*, e-mail: khamidovoybek417@gmail.com

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Khamidov O. U.[1], Postgraduate Student, https://orcid.org/0009-0000-7636-479X, e-mail: khamidovoybek417@gmail.com;
Shibanov D. A.[1], Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, https://orcid.org/0000-0002-6203-0219, e-mail: shibanov_da@pers.spmi.ru;
[1] Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University, Saint-Petersburg, Russia, khamidovoybek417@gmail.com.
Corresponding author: *Khamidov* O. *U.*, e-mail: khamidovoybek417@gmail.com.

Получена редакцией 18.07.2025; получена после рецензии 14.11.2025; принята к печати 24.11.25.
Received by the editors 18.07.2025; received after the review 14.11.2025; accepted for printing 24.11.25.