

ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ РАБОТЫ КОМПЛЕКСА ВЫЕМОЧНО-ПОГРУЗОЧНОЙ ТЕХНИКИ И АВТОТРАНСПОРТА НА КАРЬЕРЕ

Е.В. Логинов¹, С.С. Масальский¹, К.Д. Петров¹

¹ Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия,
e-mail: loginov_ev@pers.spmi.ru

Аннотация: Рассмотрены технологические схемы применения гидравлических экскаваторов типа обратная лопата в комплексе с современными видами транспортных средств. Данный вид выемочно-погрузочной техники в современных открытых горных работах наиболее часто применяется при разработке россыпных и нерудных месторождений. Исследование рассматривает современные серийно выпускаемые виды техники, позволяющие работать с различной шириной рабочей площадки. Методами исследования являются изучение технической документации выемочно-погрузочных и транспортных видов техники, обоснование ширины рабочей площадки для выбранных комплексов. В ходе исследования были установлены закономерности изменения ширины рабочей площадки для гидравлических экскаваторов типа обратная лопата в зависимости от применяемого транспорта. Результатом исследования стало сравнение полученных средних значений ширины рабочей площадки для разных видов автотранспорта, приведено обоснование параметров рабочих площадок с применением гусеничных самосвалов с поворотным механизмом. Гусеничные самосвалы с поворотным механизмом имеют ряд достоинств: минимальное время маневрирования, увеличенный преодолеваемый уклон, что в свою очередь позволяет применять данный вид техники в сложных горнотехнических и стесненных условиях без потери производительности. Результаты исследования являются актуальными и могут быть использованы на предприятиях, ведущих разработку россыпных и нерудных месторождений.

Ключевые слова: открытые горные работы, выемочно-погрузочная техника, автосамосвал, гусеничный самосвал, гидравлический экскаватор, рабочая площадка, схема погрузки, схема подачи под погрузку.

Для цитирования: Логинов Е. В., Масальский С. С., Петров К. Д. Обоснование технологической схемы работы комплекса выемочно-погрузочной техники и автотранспорта на карьере // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2023. – № 9-1. – С. 22–34. DOI: 10.25018/0236_1493_2023_91_0_22.

Justification of technological scheme of work of the complex of extraction and loading equipment and automobile transport in open-pit mining

E.V. Loginov¹, S.S. Masalskiy¹, K.D. Petrov¹

¹ Saint-Petersburg Mining University, Saint-Petersburg, Russia,
e-mail: loginov_ev@pers.spmi.ru

Abstract: The paper considers technological schemes for the use of hydraulic backhoe shovels in combination with modern types of automobile transport. This type of extraction and loading equipment in modern open-pit mining is most often used in the development of placer and construction deposits, where tight working space becomes a frequent phenomenon. The study examines modern mass-produced types of open-pit mining equipment that allow to work with different width of the working ramp. The research methods were the study of the technical documentation of the extraction and loading and transport equipment considered in the work, the justification via formulas of the width of the working ramp for the selected complexes of extraction and loading equipment and automobile transport. As a part of the study, the change of the minimum width of the working ramp for hydraulic excavators of the backhoe shovel relation, depending on the transport used, was justified. The result of the study were the comparison of the obtained average values of the minimum width of the working ramp for different types of vehicles, the justification of the parameters of working ramp with the use of crawler dump with a rotary mechanism. Crawler dump with rotary mechanism has a number of advantages: shortest time of maneuvering, increased surmountable slope, letting this type of vehicle be used in difficult mining conditions and tight working space without productivity loss. The results of the research are relevant and capable of being implemented in mining enterprises developing placer and construction deposits.

Key words: open-pit mining, extraction and loading equipment, dump truck, crawler dump, hydraulic shovel, working ramp, loading scheme, maneuvering scheme of loading.

For citation: Loginov E. V., Masalskiy S. S., Petrov K. D. Justification of technological scheme of work of the complex of extraction and loading equipment and automobile transport in open-pit mining. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2023;(9-1):22-34. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2023_91_0_22.

Введение

Основной идеей данного исследования является продолжение изучения выемочно-погрузочной техники, рассмотренной в работах [1, 2], где коллективом авторов были выделены основные модели выемочно-погрузочной техники и произведена классификация в зависимости от вместимости ковша. Исследование посвящено изучению современных видов карьерного автомобильного транспорта, обоснованию технологических схем постановки техники под погрузку [3–5]. В данной работе был рассмотрен новый вид гусеничного самосвала, исключительность которого заключается в его способности без остановки машины полностью разворачивать платформу, на которой расположе-

ны cabina водителя и кузов самосвала. Современные открытые горные работы требуют внедрения технологий, позволяющих изменять параметры разработки месторождений, как на отдельных уступах, так и на рабочем борту карьера [6–8]. Многие научные работники: А.И. Арсеньев, Г.А. Холодняков, С.И. Фомин, К.Н. Трубецкой, Д.Н. Лигоцкий, В.В. Иванов, Р.Ю. Подэрни, К.Ю. Анистратов, М.А. Тюленев – изучали принцип работы звена экскаватор – самосвал и выделили основные технологические схемы работы экскаватора в совокупности с классическим автотранспортом, однако именно применение гусеничных самосвалов с поворотным механизмом является актуальной задачей данного исследования [9–11].

В результате развития техники и технологий ведения открытых горных работ начинают применяться современные модели гусеничных самосвалов. Обзор и опыт применения гусеничных самосвалов с поворотным механизмом не встречается как в зарубежной, так и в российской научной литературе, что говорит о необходимости изучения данной техники.

Исследование проводилось методами анализа технических характеристик и способов применения рассматриваемых видов карьерных экскаваторов и автотранспорта, эмпирическим сравнением челноковой и автомобильной техники через обоснование формул, описывающих ширину рабочих площадок при применении разных типов и схем подачи под погрузку автотранспорта [12 – 14].

Результаты

В работе рассматривается применение выемочно-погрузочной техники на россыпных и нерудных месторождениях, что подразумевает под собой добычу горных пород с плотностью 1,5 – 3,1 г/см³.

По техническим характеристикам рассматриваемых погрузочных машин (табл. 1) количество циклов до полной загрузки самосвала варьируется от 3 до 8 ковшей [15, 16].

Выбор автотранспорта непосредственно зависит от этих двух факторов, так как они, безусловно, влияют на производительность выемочной техники [17 – 19]. Плотность и количество погру-

зок будем считать равными 2 и 4 г/см³, соответственно.

К каждой модели экскаватора необходимо подобрать рациональную модель автотранспорта. Вместимость ковша экскаватора и количество циклов погрузки напрямую влияют на вес груза, перевозимого транспортным средством. Для эффективной работы автотранспорта необходимо проверить возможность перевозки горной породы в кузове, учитывая количество погрузок в транспортное средство, вместимость ковша экскаватора и плотность конкретной горной породы.

Грузоподъемность транспортного средства также не должна превышать паспортного значения, указанного в технических характеристиках.

В таком случае грузоподъемность автосамосвала в тоннах должна быть не менее значения, вычисляемого по формуле

$$q = E_3 \cdot \rho \cdot n, \quad (1)$$

где E_3 – вместимость ковша погрузочной техники (1,8 м³); ρ – плотность породы, г/см³; n – количество погрузок. Минимальная грузоподъемность самосвала для техники, рассматриваемой в данной работе, будет равна 14,4 т.

Для транспортирования горных пород были выбраны модели автотранспорта российских компаний: КАМАЗ, УРАЛ, и белорусского производителя МАЗ (табл. 2).

Исследование комплекса выемочно-погрузочной техники и автотранспорта

Таблица 1

Модельный ряд выемочно-погрузочной техники при вместимости ковша до 1,8 м³
Model range of extraction and loading equipment with bucket capacity up to 1,8 m³

Фирма	Модель	Вместимость ковша, м ³	Высота разгрузки, м	Высота черпания, м	Глубина черпания, м	Радиус черпания, м
HITACHI	ZX330-5A	1,6	7,2	10,4	7,4	11,1
XCMG	XE370D	1,8	6,7	9,6	6,7	10,2
LiuGong	936E	1,6	7,2	10,2	7,3	11,1

Таблица 2

Модельный ряд автосамосвалов, их габаритные и технические характеристики
Model range of automobile transport, its overall dimensions and technical data

Фирма	Модель	Вместимость кузова, м ³	Грузоподъемность, т	Длина, м	Ширина, м	Высота, м	Радиус поворота, м
КАМАЗ	65115-48	10,0	15,0	8,9	2,4	3,6	10,0
УРАЛ	NEXT 73945-5121	10,0	15,2	7,7	2,9	2,8	9,0
МАЗ	5550С3	10,6	15,0	6,2	2,6	3,0	8,0

неразрывно связано с изучением схем подачи самосвалов под погрузку [20 – 22]. Наиболее распространенные схемы: сквозная (рис. 1, а), кольцевая (рис. 1, б), тупиковая (рис. 1, в) – рассмотрены в работе при условии отработки забоя верхним черпанием и нормальной ширины заходки, равной для гидравлических экскаваторов типа обратная лопата (ЭГО)

$$A_{н.ЭГО} = (1,5 - 1,8)R_{ч.макс}, \quad (2)$$

где $R_{ч.макс}$ – радиус черпания ЭГО максимальный, коэффициент был принят равным 1,5.

При использовании различной экскавационной техники возможно обеспечить достаточную ширину рабочей площадки при заданных горнотехнических условиях.

На данном этапе развития горного оборудования на карьерах применяют современную экскавационную и транспортную технику. Основным видом выемочно-погрузочного оборудования остаются одноковшовые экскаваторы циклического действия. Данные экскаваторы имеют различные конфигурации рабочего оборудования, линейные размеры и т.д. Одноковшовые экскаваторы типа механическая лопата являются наиболее распространенной техникой, которая эффективно применяется на вскрышных и добычных работах. Экскаваторы типа механическая лопата можно разделить на две основные группы: прямая механическая лопата и обратная механическая лопата. Наиболее интересными для изучения являются экскаваторы типа обратная лопата (ЭГО), за счет бо-

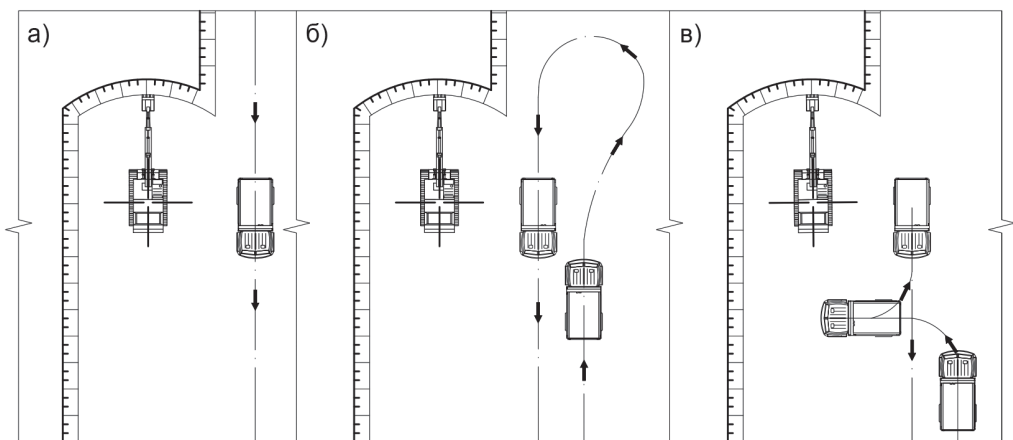


Рис. 1. Технологические схемы подачи автотранспорта под погрузку: сквозная (а); кольцевая (б); тупиковая (в) [составлено авторами]

Fig. 1. Technological maneuvering schemes of loading: drive-by (a); ring (b); stub (v) [compiled by the authors]

лее разнообразной кинематики движения ковша, которая объединяет преимущества верхнего и нижнего черпания одновременно.

В настоящее время гидравлические экскаваторы типа обратная лопата активно применяются в комплексе с автотранспортом [23 – 25]. За счет конструктивных особенностей данное оборудование получило значительную популярность при разработке нерудных и россыпных месторождений. Принципиальная отличительная особенность данной техники заключается в возможности ее использования по трем основным технологическим схемам. В данном исследовании было предложено использовать ЭГО по схеме работы с верхним черпанием.

При работе на современных карьерах наиболее распространенными являются кольцевая и тупиковая схемы подачи автотранспорта. При работе по сквозной схеме необходимо обеспечить доступ на горизонт на нескольких участках, что в свою очередь не всегда возможно.

Особенно применение тупиковой и кольцевой схем целесообразно при использовании углубочных систем разработки. Тупиковая схема позволяет эффективно работать в сложных горно-технических и особенно в стесненных условиях. Сквозная схема более целесообразна в безуглубочных системах разработки, то есть при использовании максимально возможной рабочей площадки.

Таблица 3

Средние значения параметров, формирующих ширину рабочей площадки при использовании автотранспорта с тупиковой и кольцевой схемами подачи под погрузку

Average values of parameters forming the width of working ramp when using automobile transport via stub and ring maneuvering schemes of loading

Схема подачи	$A_{н.ЭГО}$, м	C_2 , м	E_k , м	E_T , м	Π_1 , м	C_1 , м	b_n , м	$\Sigma_{р.п.}$, м
Кольцевая	16,2	2,3	18	—	2	2	2	42,5
Тупиковая	16,2	2,3	—	3,6	2	2	2	28,1

Для эффективной работы по сквозной схеме необходимо обеспечить выход грузопотока в двух противоположных направлениях.

В данной работе рассматриваются кольцевая и тупиковая схемы подачи автотранспорта. Ширина рабочей площадки для тупиковой схемы подачи автотранспорта (по данным «Центрогипрошахта»):

$$\Sigma_{р.п.т.} = b_n + C_1 + \Pi_1 + E_T + C_2 + A_{н.ЭГО}; \quad (3)$$

для кольцевой схемы подачи транспорта:

$$\Sigma_{р.п.к.} = b_n + C_1 + \Pi_1 + E_k + C_2 + A_{н.ЭГО}, \quad (4)$$

где b_n — ширина полосы безопасности (2 м); C_1 — расстояние между полосой дополнительного оборудования и полосой безопасности (2 м); Π_1 — полоса для размещения дополнительного оборудования (2 м); E_T , E_k — ширина площадки маневрирования при тупиковой и кольцевой схемах подачи автотранспорта под погрузку, соответственно:

$$E_T = \Sigma_{сам} + b_{дв}, \quad (5)$$

$$E_k = 2R; \quad (6)$$

$\Sigma_{сам}$ — ширина автосамосвала; $b_{дв}$ — безопасное расстояние между движущимися навстречу автосамосвалами (1 м); R — радиус поворота автосамосвала; C_2 — расстояние от оси дороги до нижней бровки при тупиковом маневрировании:

$$C_2 = 0,5\Sigma_{сам} + b_{дв}. \quad (7)$$

После проведения расчетов с использованием показателей выбранной техники (табл. 1, 2) были выведены средние значения ширины рабочей площадки для тупиковой и кольцевой схем подачи, соответственно (табл. 3).

На данный момент информация о применении гусеничных самосвалов с поворотным механизмом в открытых источниках практически отсутствует. Однако появляются сообщения о серийном выпуске данной техники: итальянская компания Prinoth производит гусеничные самосвалы серии PANTHER (рис. 2), а также примеры их применения на месторождениях нерудных полезных ископаемых.

Особенно актуален данный вопрос при разработке месторождений небольшой производственной мощности в сложных горнотехнических условиях и при отсутствии централизованного электрообеспечения [26 – 28].

Применение гусеничных самосвалов с поворотным механизмом имеет свои достоинства: мобильность самосвала в трудных горнотехнических условиях благодаря вращению кабины, что позволяет менять направление движения; максимальный преодолеваемый уклон может достигать 200 – 250%; возможность уменьшения ширины рабочей площадки [29 – 31].

Недостатками схемы выступают: малая грузоподъемность, высокая стоимость оборудования и технического обслуживания.

Технологическая схема челноковой работы гусеничного самосвала включает в себя следующие процессы:

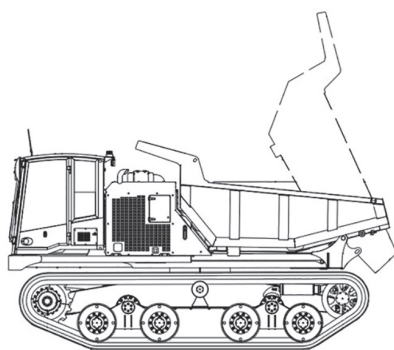


Рис. 2. Гусеничный самосвал с поворотным механизмом [составлено авторами]

Fig. 2. Crawler dump with the rotary mechanism [compiled by the authors]

- порожним ходом происходит спуск на погрузочную площадку, при этом кабина располагается по ходу движения самосвала;
- перед погрузкой осуществляется разворот кабины на 180° и происходит загрузка самосвала;
- груженный самосвал поднимается по транспортной берме на перегрузочную площадку, в это время кабина находится по движению хода самосвала;
- на перегрузочном пункте осуществляется разворот кабины на 180° и происходит разгрузка кузова, после чего осуществляется разворот кабины на 180° и производится дальнейшее движение;
- цикл повторяется.

В ходе исследования были проанализированы существующие модели гусеничных самосвалов с поворотным механизмом, и для примера была выбрана модель PANTHER T16, технические характеристики которой представлены в табл. 4.

Таблица 4

Технические характеристики гусеничного самосвала PANTHER T16
Technical data of crawler dump PANTHER T16

Фирма	Модель	Вместимость кузова, м ³	Грузоподъемность, т	Длина, м	Ширина, м	Высота, м	Радиус поворота, м
Prinoth	PANTHER T16	8,8	15,2	8,1	2,9	3	—

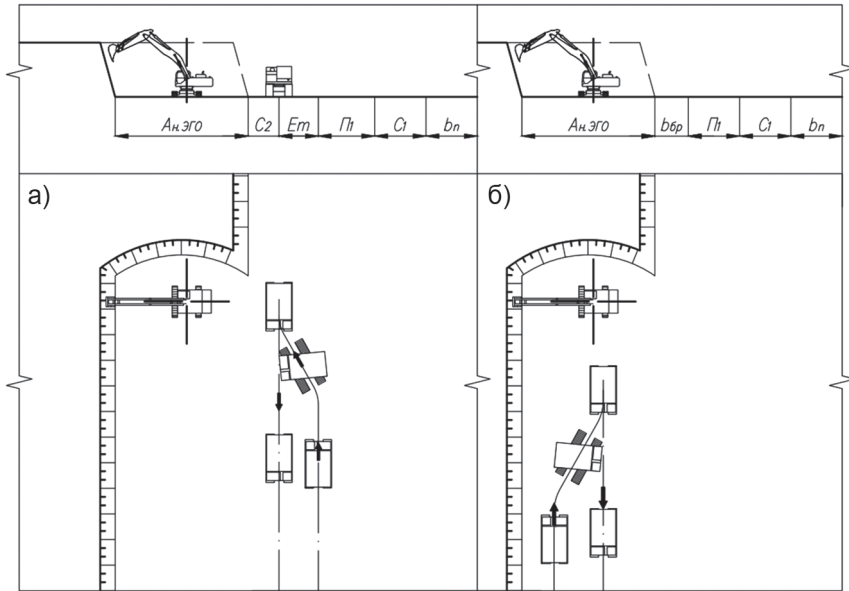


Рис. 3. Технологические схемы подачи гусеничного самосвала с поворотным механизмом под погрузку: челноково-тупиковая (а); челноковая (б) [составлено авторами]

Fig. 3. Technological maneuvering schemes of loading when using crawler dump with the rotary mechanism: shuttle-stub (a); shuttle (b) [compiled by the authors]

Основной целью данного исследования является обоснование технологических схем применения гидравлических экскаваторов типа обратная лопата в комплексе с современными видами автотранспортных средств [32, 33].

На основе сопоставления информации и расчетов ширины рабочей площадки были представлены технологические схемы ведения добычных работ на условном месторождении россыпных и нерудных полезных ископаемых [34]. По аналогии с подземной разработкой месторождений полезных ископаемых схему маневрирования гусеничных са-

мосвалов с поворотным механизмом предлагается называть челноковой [35]. Гидравлический экскаватор типа обратная лопата располагается на нижней рабочей площадке и выполняет верхнее черпание рабочего уступа. Гусеничный самосвал с поворотным механизмом располагается на нижней рабочей площадке и подается под погрузку по челноково-тупиковой (рис. 3, а) и челноковой (рис. 3, б) схемам.

Расчет ширины рабочей площадки для тупиковой и челноково-тупиковой схем подачи автотранспорта под погрузку аналогичен. Челноковая схема

Таблица 5

Средние значения параметров, формирующих ширину рабочей площадки при использовании гусеничного самосвала с поворотным механизмом
Average values of parameters forming the width of working ramp when using crawler dump with the rotary mechanism

Схема подачи	$A_{н.эго}, м$	$C_2, м$	$b_{бр}$	$E_r, м$	$П_1, м$	$C_1, м$	$b_n, м$	$Ш_{р.п.}, м$
Челноково-тупиковая	16,2	2,3	—	3,6	2	2	2	28,1
Челноковая	16,2	—	1	—	2	2	2	23,2

требует обоснования отдельной формулы, описывающей ширину рабочей площадки:

$$Ш_{р.п.ч.} = b_n + C_1 + П_1 + b_{бр} + A_{н.ЭГО}, \quad (8)$$

где $b_{бр}$ — безопасное расстояние между нижней бровкой уступа и полосой для размещения дополнительного оборудования (1 м).

Значения минимальной ширины рабочей площадки при использовании гусеничного самосвала с поворотным механизмом по двум технологическим схемам приведены в табл. 5.

Обсуждение результатов

Проанализировав полученные результаты, можно сделать вывод, что при использовании гусеничного самосвала с поворотным механизмом по челноковой схеме подачи под погрузку ширина рабочей площадки является минимальной (табл. 6).

Опыт ведения открытых горных работ показывает, что при определении ширины рабочей площадки необходимо обеспечить установленные параметры забоя экскаватора и параметры автотранспорта, а также стабильную производительность всего добычного участка. Варьирование ширины рабочей площадки приводит к изменению угла откоса рабочего борта карьера, что в свою очередь предоставляет возможность управления эксплуатационным коэффициентом вскрыши. Особенно актуален

данный вопрос при разработке мало-мощных россыпных месторождений, где значение эксплуатационного коэффициента вскрыши в значительной степени влияет на рентабельность добычи полезного ископаемого.

Достоинством применения гусеничных самосвалов с поворотным механизмом можно считать сокращение времени маневрирования при подаче под погрузку и разгрузку. Данный вид транспорта не уступает современным моделям автотранспорта по скорости передвижения. Учитывая эти факторы, можно сделать вывод, что при равных условиях транспортирования производительность гусеничных самосвалов с поворотным механизмом может быть увеличена на 8—10%.

Заключение

Результатом исследования стало обоснование технологических схем работы комплекса выемочно-погрузочного оборудования и автотранспорта на открытых горных работах.

Были получены значения ширины рабочей площадки при использовании комплекса экскаватор — автотранспорт при различных вариантах подачи транспортных средств под погрузку. Были рассмотрены тупиковая и кольцевая схемы подачи автотранспорта под погрузку. Обоснована возможность применения гусеничного самосвала с поворотным механизмом при челноково-тупиковой и челноковой схемах. Преимущество

Таблица 6

Значения ширины рабочей площадки при использовании современных видов автотранспорта

Values of working ramp when using modern types of automobile transport

Схема подачи	Модель автотранспорта	Модель ЭГО	$Ш_{р.п.ч.}$, м
Кольцевая	5550С3	ZX330-5A	42,5
Тупиковая	5550С3	ZX330-5A	28,1
Челноково-тупиковая	PANTHER T16	XE370D	28,1
Челноковая	PANTHER T16	936E	23,2

гусеничного самосвала с поворотным механизмом при челноково-тупиковой схеме подачи под погрузку заключается в сокращении времени на маневрирование вследствие отсутствия необходимости разворота автотранспорта и увели-

чении производительности на 8–10%. Челноковая схема уменьшает ширину рабочей площадки в среднем на 6–7 м за счет возможности размещения площадки маневрирования в пределах ширины экскаваторного забоя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Логинов Е. В., Масальский С. С.* Исследование технических характеристик серийно выпускаемых моделей выемочно-погрузочного оборудования разных типов // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. — 2023. — № 1. — Т. 21. — С. 15–23. DOI: 10.18503/1995-2732-2023-21-1-15-23.

2. *Логинов Е. В., Вольф В. В.* Исследование параметров технологических схем разработки месторождений песчано-гравийных смесей обратными гидравлическими лопатами // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2022. — № 8. — С. 71–84. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_8_0_71.

3. *Журавлев А. Г., Семенкин А. В., Черепанов В. А., Глебов И. А., Чендырев М. А.* Задачи развития перспективных циклично-поточных технологий для глубоких карьеров // Горная промышленность. — 2022. — № 15. — С. 53–62. DOI: 10.30686/1609-9192-2022-15-53-62.

4. *Анистратов К. Ю., Лукичев С. В., Исайченков А. Б.* Сравнительный анализ эффективности использования канатных и гидравлических экскаваторов // Горный журнал. — 2020. — № 12. — С. 74–78. DOI: 10.17580/gzh.2020.12.17.

5. *Черепанов В. А., Журавлев А. Г.* Современные технологические и конструктивные решения в карьерном транспорте // Проблемы недропользования. — 2022. — № 4. — С. 75–93. DOI: 10.25635/2313-1586.2022.04.075.

6. *Литвиненко В. С., Петров Е. И., Василевская Д. В., Яковенко А. В., Наумов И. А., Ратников М. А.* Оценка роли государства в управлении минеральными ресурсами // Записки Горного института. — 2023. — Т. 259. — С. 95–111. DOI: 10.31897/PMI.2022.100.

7. *Бочкарев Ю. С., Зырянов И. В.* Повышение эффективности эксплуатации карьерных автосамосвалов при разработке россыпных месторождений Севера // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2022. — № 5-2. — С. 80–90. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_52_0_80.

8. *Gogolynskiy K. V., Gromyka D. S., Kremcheev E. A.* A modelling of cyclic thermal and impact loads on excavator bucket // International Review of Mechanical Engineering. 2021, vol. 15, no. 4, pp. 189–196. DOI: 10.15866/ireme.v15i4.20699.

9. *Никифоров А. В., Анисимов К. А.* Современные технологии отработки алмазонасных месторождений // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. — 2023. — Т. 334. — № 1. — С. 196–208. DOI: 10.18799/24131830/2023/1/3837.

10. *Хазин М. Л.* Направления развития карьерного автотранспорта // Недропользование. — 2021. — Т. 21. — № 3. — С. 144–150. DOI: 10.15593/2712-8008/2021.3.7.

11. *Fomin S. I., Vinogradov I. P., Lapshin N. S.* Determining length of mining front in non-blast open mining of complex structure carbonate deposits // Journal of Engineering and Applied Sciences. 2020, vol. 15, no. 1, pp. 94–98. DOI: 10.36478/jeasci.2020.94.98.

12. *Махараткин П. Н., Абдулаев Э. К., Вишняков Г. Ю., Ботян Е. Ю., Пушкарев А. Е.* Повышение эффективности функционирования карьерных автосамосвалов на основе обоснования их рациональной скорости с помощью имитационного моделирования // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2022. — № 6-2. — С. 237–250. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_62_0_237.

13. *Сидоров В. В., Косолапов А. И.* О необходимости оптимизации параметров технологических схем открытой разработки Черногорского каменноугольного месторождения //

Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 1. – С. 68–77. DOI: 10.25018/0236-1493-2021.

14. *Наговицын О. В., Возняк М. Г.* К вопросам управления роботизированным горнодобывающим предприятием // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 5-1. – С. 326–335. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_51_0_326.

15. *Fomin S. I., Ivanov V. V.* Improving the reliability of opencast system for complex structure ore deposits // International Journal of Civil Engineering and Technology. 2018, vol. 9, no. 13, pp. 36–43.

16. *Иванов В. В., Дзюрич Д. О.* Обоснование параметров технологической схемы разработки обводненных месторождений строительного песка // Записки Горного института. – 2022. – Т. 253. – С. 33–40. DOI: 10.31897/PMI.2022.3

17. *Логинов Е. В., Тюленева Т. А.* Управление параметрами карьера в целях повышения эффективности использования гидравлических экскаваторов типа обратная лопата // Уголь. – 2022. – № 12. – С. 6–10. DOI: 10.18796/0041-5790-2021-12-6-10.

18. *Jung T., Raduenz H., Krus P., De Negri V. J., Lee J.* Boom energy recuperation system and control strategy for hydraulic hybrid excavators // Automation in Construction. 2022, vol. 135, no. 7, article 104046. DOI: 10.1016/j.autcon.2021.104046.

19. *Vedrova D. A., Reshetnyak S. P.* Methods to improve the waste rock dumping efficiency and reclamation under the north condition // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020, vol. 539, no. 1, article 012037. DOI: 10.1088/1755-1315/539/1/012037.

20. *Onifade M., Adebisi J. A., Shivute A. P., Genc B.* Challenges and applications of digital technology in the mineral industry // Resources Policy. 2023, vol. 85, part B. DOI: 10.1016/j.resourpol.2023.103978.

21. *Yuasa T., Ishikawa M.* An optimal design methodology for the trajectory of hydraulic excavators based on genetic algorithm // Journal of Robotics and Mechatronics. 2021, vol. 33, pp. 1248–1254. DOI: 10.20965/jrm.2021.p1248.

22. *Стрельников А. В., Тюленев М. А.* Опыт применения обратных гидравлических лопат на разрезах ОАО «УК «Кузбассразрезуголь» // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2011. – № 2(85). – С. 8–12.

23. *Литвин О. И., Литвин Я. О., Тюленев М. А., Марков С. О.* Об определении параметров забойных блоков при ведении горных работ обратными гидравлическими лопатами // Горная промышленность. – 2021. – № 6. – С. 76–81. DOI: 10.30686/1609-9192-2021-6-76-81.

24. *Холодняков Г. А., Аргимбаев К. Р., Решетняк С. П.* Определение высоты добычного забоя при разработке хвостохранилищ гидравлическим экскаватором типа обратная лопата // Записки Горного института. – 2012. – Т. 195. – С. 138–141.

25. *Ligotsky D. N.* A review of mining and loading equipment currently used for open pit mining // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2019, vol. 14, no. 19, pp. 7154–7158. DOI: 10.36478/JEASCI.2019.7154.7158.

26. *Боймуродов Н. А.* Современное состояние изучения геомеханического состояния горных массивов с увеличением глубины открытых горных работ // Universum: технические науки. – 2022. – № 11-8(104). – С. 4–8.

27. *Fomin S. I., Ivanov V. V., Semenov A. S., Ovsyannikov M. P.* Incremental open-pit mining of steeply dipping ore deposits // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2020, vol. 11, no. 15, pp. 1306–1311. DOI: http://www.arpnjournals.org/jeas/research_papers/rp_2020/jeas_0620_8231.pdf.

28. *Павлович А. А., Коршунов В. А., Бажуков А. А., Мельников Н. Я.* Оценка прочности массива горных пород при разработке месторождений открытым способом // Записки Горного института. – 2019. – Т. 239. – С. 502–509. DOI: 10.31897/pmi.2019.5.502.

29. *Wang X., Sun H., Feng M., Ren Z., Liu J.* Dynamic analysis of working device of excavator under limit digging force // Journal of the Institution of Engineers. 2021, vol. 102, no. 5, pp. 1137–1144. DOI: 10.1007/s400н32-021-00725-4.

30. Лель Ю. И., Глебов И. А. Обоснование оптимального уклона крутонаклонных автосъездов для полноприводных автосамосвалов, эксплуатируемых при доработке алмазородных месторождений // Горная промышленность. — 2022. — № 1. — С. 95–99. DOI: 10.30686/1609-9192-2022-1S-95-99.

31. Тарасов П. И., Хазин М. Л., Голубев О. В. Эволюция карьерного автотранспорта // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. — 2021. — № 2. — С. 67–74. DOI: 10.20291/2079-0392-2021-2-67-74.

32. Drebenstedt C., Argimbaev K. R. Korkinsk brown coal open pit as a case study of endogenous fires // International Journal of Engineering, Transactions A: Basics. 2021, vol. 34, no. 1, pp. 292–304. DOI: 10.5829/ije.2021.34.01a.32.

33. Li Y., Mu X., Fan R. Multi-objective optimization and simulation of novel working mechanism for face-shovel excavator // International Journal of Intelligent Robotics and Applications. 2021, vol. 5, no. 1, pp. 1–9. DOI: 10.1007/s41315-020-00160-1.

34. 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.

35. Носов А. А., Карпов Г. Н., Ковальский Е. Р. Особенности технологии формирования искусственного перекрытия в породах кровли над демонтажной камерой // Уголь. — 2023. — № 3. — С. 69–74. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-3-69-74. **МАБ**

REFERENCES

1. Loginov E. V., Masalskiy S. S. Research on technical characteristics of mass-produced models of extraction and loading equipment of various types. *Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University*. 2023, no. 1, vol. 21, pp. 15–23. [In Russ]. DOI: 10.18503/1995-2732-2023-21-1-15-23.

2. Loginov E. V., Volf V. V. Parameters of flow charts for hydraulic backhoe excavation of sand-and-gravel deposits. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022, no. 8, pp. 71–84. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_8_0_71.

3. Zhuravlev A. G., Semekin A. V., Cherepanov V. A., Glebov I. A., Chendyrev M. A. The purpose of developing advanced in-pit crushing and conveying technology for deep open pits. *Russian Mining Industry Journal*. 2022, no. 1S, pp. 53–62. [In Russ]. DOI: 10.30686/1609-9192-2022-1S-53-62.

4. Anistratov K. Ju., Lukichev S. V., Isajchenkov A. B. Comparative analysis of the efficiency of using rope and hydraulic excavators. *Gornyi Zhurnal*. 2020, no. 12, pp. 74–78. [In Russ]. DOI: 10.17580/gzh.2020.12.17.

5. Cherepanov V. A., Zhuravlev A. G. Modern technological and design solutions in mining transport. *Problems of Subsoil Use*. 2022, no. 4, pp. 75–93. [In Russ]. DOI: 10.25635/2313-1586.2022.04.075.

6. Litvinenko V. S., Petrov E. I., Vasilevskaya D. V., Yakovenko A. V., Naumov I. A., Ratinikov M. A. Assessment of the role of the state in the management of mineral resources. *Journal of Mining Institute*. 2023, vol. 259, pp. 95–111. [In Russ]. DOI: 10.31897/PMI.2022.100.

7. Bochkaryov Yu. S., Zyryanov I. V. Improving the efficiency of operation quarry dump trucks on placer deposits in the North conditions. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022, no. 5-2, pp. 80–90. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_52_0_80.

8. Gogolynskiy K. V., Gromyka D. S., Kremcheev E. A. A modelling of cyclic thermal and impact loads on excavator bucket. *International Review of Mechanical Engineering*. 2021, vol. 15, no. 4, pp. 189–196. DOI: 10.15866/ireme.v15i4.20699.

9. Nikiforov A. V., Anisimov K. A. Modern technologies of the development of diamondiferous deposits. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*. 2023, vol. 334, no. 1, pp. 196–208. [In Russ]. DOI: 10.18799/24131830/2023/1/3837.

10. Khazin M. L. Directions of career transport development. *Nedropolzovanie*. 2021, vol. 21, no. 3, pp. 144–150. [In Russ]. DOI: 10.15593/2712-8008/2021.3.7.

11. Fomin S. I., Vinogradov I. P., Lapshin N. S. Determining length of mining front in non-blast open mining of complex structure carbonate deposits. *Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2020, vol. 15, no. 1, pp. 94–98. DOI: 10.36478/jeasci.2020.94.98.
12. Makharatkin P. N., Abdulaev E. K., Vishnyakov G. Yu., Botyan E. Yu., Pushkarev A. E. Increase of efficiency of dump trucks functioning on the basis of justification of their rational speed by means of simulation modeling. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022, no. 6-2, pp. 237–250. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_62_0_237.
13. Sidorov V. V., Kosolapov A. I. Required optimization of process flow designs in open pit mining in the Chernogorsky coal field. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021, no. 1, pp. 68–77. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2021.
14. Nagovitsyn O. V., Voznyak M. G. Robotic mine management. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021, no. 5-1, pp. 326–335. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_51_0_326.
15. Fomin S. I., Ivanov V. V. Improving the reliability of opencast system for complex structure ore deposits. *International Journal of Civil Engineering and Technology*. 2018, vol. 9, no. 13, pp. 36–43.
16. Ivanov V. V., Dzurich D. O. Justification of the parameters of the technological scheme for the development of flooded deposits of building sand. *Journal of Mining Institute*. 2022, vol. 253, pp. 33–40. [In Russ]. DOI: 10.31897/PMI.2022.3
17. Loginov E. V., Tyuleneva T. A. Control of quarry parameters to improve the efficiency of hydraulic backhoes. *Ugol'*. 2022, no. 12, pp. 6–10. [In Russ]. DOI: 10.18796/0041-5790-2021-12-6-10.
18. Jung T., Raduenz H., Krus P., De Negri V. J., Lee J. Boom energy recuperation system and control strategy for hydraulic hybrid excavators. *Automation in Construction*. 2022, vol. 135, no. 7, article 104046. DOI: 10.1016/j.autcon.2021.104046.
19. Vedrova D. A., Reshetnyak S. P. Methods to improve the waste rock dumping efficiency and reclamation under the north condition. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020, vol. 539, no. 1, article 012037. DOI: 10.1088/1755-1315/539/1/012037.
20. Onifade M., Adebisi J. A., Shivute A. P., Genc B. Challenges and applications of digital technology in the mineral industry. *Resources Policy*. 2023, vol. 85, part B. DOI: 10.1016/j.resourpol.2023.103978.
21. Yuasa T., Ishikawa M. An optimal design methodology for the trajectory of hydraulic excavators based on genetic algorithm. *Journal of Robotics and Mechatronics*. 2021, vol. 33, pp. 1248–1254. DOI: 10.20965/jrm.2021.p1248.
22. Strelnikov A. V., Tyulenev M. A. Experience in the use of hydraulic backhoes in the open pits of OAO «UK «Kuzbassrazrezugol». *Bulletin of the Kuzbass State Technical University*. 2011, no. 2(85), pp. 8–12. [In Russ].
23. Litvin O. I., Litvin Ja. O., Tyulenev M. A. On determining the parameters of bottomhole blocks in the course of mining operations with hydraulic backhoes. *Russian Mining Industry Journal*. 2021, no. 6, pp. 76–81. [In Russ]. DOI: 10.30686/1609-9192-2021-6-76-81.
24. Kholodnyakov G. A., Argimbaev K. R., Reshetnyak S. P. Determining the mine working height for the development of tailing dumps hydraulic excavator backdigger. *Journal of Mining Institute*. 2012, vol. 195, pp. 138–141. [In Russ].
25. Ligotsky D. N. A review of mining and loading equipment currently used for open pit mining. *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2019, vol. 14, no. 19, pp. 7154–7158. DOI: 10.36478/JEASCI.2019.7154.7158.
26. Boymurodov N. The current state of the study of geomechanical conditions of rock masses with an increase in the depth of open-pit mining. *Universum: tehnicheckie nauki*. 2022, no. 11-8(104), pp. 4–8.
27. Fomin S. I., Ivanov V. V., Semenov A. S., Ovsyannikov M. P. Incremental open-pit mining of steeply dipping ore deposits. *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2020, vol. 11, no. 15, pp. 1306–1311. DOI: http://www.arnpjournals.org/jeas/research_papers/rp_2020/jeas_0620_8231.pdf.

28. Pavlovich A. A., Korshunov V. A., Bazhukov A. A., Melnikov N. Ya. Evaluation of the strength of a rock mass in the development of deposits by an open method. *Journal of Mining Institute*. 2019, vol. 239, pp. 502 – 509. [In Russ]. DOI: 10.31897/pmi.2019.5.502.

29. Wang X., Sun H., Feng M., Ren Z., Liu J. Dynamic analysis of working device of excavator under limit digging force. *Journal of the Institution of Engineers*. 2021, vol. 102, no. 5, pp. 1137 – 1144. DOI: 10.1007/s400н32-021-00725-4.

30. Lel Yu. I., Glebov I. A. Justification of optimal gradient of steeply inclined ramps for all-wheel drive dump trucks used in diamond deposit completion. *Russian Mining Industry Journal*. 2022, no. 1, pp. 95 – 99. [In Russ]. DOI: 10.30686/1609-9192-2022-1S-95-99.

31. Tarasov P. I., Khazin M. L., Golubev O. V. The evolution of quarry vehicles. *Herald of the Ural state university of railway transport*. 2021, no. 2, pp. 67 – 74. [In Russ]. DOI: 10.20291/2079-0392-2021-2-67-74.

32. Drebenstedt C., Argimbaev K. R. Korkinsk brown coal open pit as a case study of endogenous fires. *International Journal of Engineering, Transactions A: Basics*. 2021, vol. 34, no. 1, pp. 292 – 304. DOI: 10.5829/ije.2021.34.01a.32.

33. Li Y., Mu X., Fan R. Multi-objective optimization and simulation of novel working mechanism for face-shovel excavator. *International Journal of Intelligent Robotics and Applications*. 2021, vol. 5, no. 1, pp. 1 – 9. DOI: 10.1007/s41315-020-00160-1.

34. 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]. DOI: 10.31897/PMI.2020.1.10.

35. Nosov A. A., Karpov G. N., Kovalsky E. R. Features of the technology of forming an artificial mass in the roof rocks above the recovery room. *Ugol'*. 2023, no. 3, pp. 69 – 74. [In Russ]. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-3-69-74.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Логинов Егор Вячеславович¹ – канд. техн. наук,

доцент, e-mail: loginov_ev@pers.spmi.ru,

ORCID ID: 0000-0003-3965-0839,

Масальский Сергей Сергеевич¹ – студент,

e-mail: 433ckacl750@gmail.com,

Петров Константин Денисович¹ – студент,

e-mail: kostello.w@gmail.com,

¹ Санкт-Петербургский горный университет.

Для контактов: Логинов Е.В., e-mail: loginov_ev@pers.spmi.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

E.V. Loginov¹, Cand. Sci. (Eng.),

Assistant Professor,

e-mail: loginov_ev@pers.spmi.ru,

ORCID ID: 0000-0003-3965-0839,

S.S. Masalskiy¹, Student,

e-mail: 433ckacl750@gmail.com,

K.D. Petrov¹, Student,

e-mail: kostello.w@gmail.com,

¹ Saint-Petersburg Mining University,

199106, Saint-Petersburg, Russia.

Corresponding author: E.V. Loginov, e-mail: loginov_ev@pers.spmi.ru.

Получена редакцией 02.05.2023; получена после рецензии 09.08.2023; принята к печати 10.08.2023.

Received by the editors 02.05.2023; received after the review 09.08.2023; accepted for printing 10.08.2023.