ГИАБ. Горный информационно-аналитический бюллетень /
MIAB. Mining Informational and Analytical Bulletin, 2022;(8):71-84
ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ / ORIGINAL PAPER

УДК 622.33 DOI: 10.25018/0236_1493_2022_8_0_71

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПЕСЧАНО-ГРАВИЙНЫХ СМЕСЕЙ ОБРАТНЫМИ ГИДРАВЛИЧЕСКИМИ ЛОПАТАМИ

Е.В. Логинов[1], В.В. Вольф[1]

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

Аннотация: Изучены некоторые параметры технологических схем ведения горных работ на месторождениях сухих песчано-гравийных смесей (ПГС) при использовании гидравлических экскаваторов типа обратная лопата. Гидравлические экскаваторы типа обратная лопата имеют широкий модельный ряд по вместимости ковша, начиная с самых малых, что особенно актуально для карьеров по добыче песчано-гравийных смесей в связи с небольшими размерами карьерного поля и невысокой производительностью по полезному ископаемому. Исследование выполнено для экскаваторно-автомобильных комплексов, выемочно-погрузочное оборудование которых представлено современным модельным рядом гидравлических экскаваторов зарубежных производителей. В каждой исследуемой схеме в качестве основного параметра системы разработки рассматривалась высота отрабатываемого уступа при максимально возможной ширине заходки. Целью исследования является обоснование возможности работы гидравлического экскаватора типа обратная лопата с верхней погрузкой при установке экскаватора на подуступе. Установлены преимущества и недостатки данной схемы. На примере условного месторождения ПГС определена технологическая эффективность использования схемы с верхней погрузкой с расположением экскаватора на подуступе. Результаты исследования являются актуальными и могут быть использованы на предприятиях, ведущих разработку месторождений ПГС обратными гидравлическими лопатами для решения задач текущего планирования горных работ.

Ключевые слова: разработка месторождений, открытые горные работы, гидравлический экскаватор, песчано-гравийная смесь, добычные работы, высота уступа, верхняя погрузка, подуступ.

Для цитирования: *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.

Parameters of flow charts for hydraulic backhoe excavation of sand-and-gravel deposits

E.V. Loginov[1], V.V. Volf[1]

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

© Е.В. Логинов, В.В. Вольф. 2022.

Abstract: The article analyzes some parameters of flow charts for cutting dry sand-and-gavel deposits using hydraulic backhoes. Hydraulic backhoes range widely in terms of their bucket capacity, starting from models with the smallest buckets, which is of particular concern in sand-and-gravel quarrying because of small sizes of such quarries and their low productivity. The analysis is carried out for mining systems using modern foreign-manufacture hydraulic backhoes and dump trucks. The key parameters of each flow chart under analysis was the height of the cutting bench at the maximum possible width of cut. The study aimed to prove feasibility of operation of a hydraulic backhoe with top loading of dump trucks when the backhoe was set on a sub-bench. The benefits and disbenefits of this flow chart are identified. In terms of a conditional sand-and-gravel deposit, the efficiency of the flow chart with top loading executed by a hydraulic backhoe set on a sub-bench is determined. The studies are relevant and are of use in planning and actual cutting of sand-and-gravel mixes by hydraulic backhoes.

Key words: mineral mining, open pit mining, hydraulic backhoe, sand-and-gravel mix, production, bench height, top loading, sub-bench.

For citation: 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;(8):71-84. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_8_0_71.

Введение

Открытый способ разработки сегодня доминирует при освоении месторождений полезных ископаемых всех видов [1, 2]. Основным типом выемочно-погрузочной техники при этом являются одноковшовые экскаваторы [3]. При разработке открытым способом с применением современных экскаваторных комплексов видна тенденция к увеличению доли использования гидравлических экскаваторов типа обратная лопата [4, 5]. Особенно распространен данный вид техники на карьерах по добыче строительных материалов, в том числе сухих и обводненных песчано-гравийных смесей (ПГС) [6–8]. Стоит отметить, что около 50% продукции от общего объема добычи нерудных строительных материалов приходится на долю ПГС [9, 10].

Гидравлические экскаваторы типа обратная лопата имеют широкий модельный ряд по вместимости ковша, начиная с самых малых (от 0,11 м^3), что особенно актуально для карьеров по добыче ПГС в связи с небольшими размерами карьерного поля и невысокой производительностью по полезному ископаемому [11, 12]. Благодаря особенностям конструкции гидравлический экскаватор можно использовать в различных условиях разработки [13, 14]. Наибольшее распространение на текущий момент получили технологические схемы ведения горных работ с расположением экскаватора на верхней и нижней площадке уступа [15–17]. Также реализуется схема с расположением гидравлического экскаватора на подуступе с использованием нижней погрузки.

Использованием гидравлических экскаваторов типа обратная лопата на карьерах занимались многие ученые [18–20]. В своих работах исследователи уделяли внимание вопросам, связанным с принципом действия, особенностями конструкции, преимуществами и недостатками, основными схемами работы таких экскаваторов [21]. Необходимо отметить, что ученые в своих трудах, как

правило, затрагивали вопросы применения обратных гидролопат при вскрытии и разработке угольных и рудных месторождений [22, 23]. Слабо изучен способ верхней погрузки при установке обратной гидролопаты на подуступе. Актуальность выбранной темы подтверждается тем, что исследование применения гидравлических экскаваторов на месторождениях ПГС является малоизученным вопросом.

Методы исследования

В ходе исследования авторами предложена классификация схем ведения добычных работ гидравлическими экскаваторами типа обратная лопата при разработке сухих песчано-гравийных смесей (рис. 1).

В данной работе изучены технологические схемы для современных моделей экскаваторов. В качестве базовых выбран модельный ряд фирм производителей карьерной техники Hitachi и Komatsu как одних из наиболее распространенных на открытых горных работах России [24]. К каждой модели подбирался автосамосвал из расчета 4 — 6 ковшей, достаточных для полной загрузки кузова автосамосвала [25, 26]. По результатам анализа составлена табл. 1, в которой отражены основные технические характеристики для комплекса экскаватор-автосамосвал.

Основными параметрами системы разработки при использовании гидравлических экскаваторов типа обратная лопата можно считать высоту уступа, ширину заходки, ширину рабочей площадки. В данной работе изучалась высота уступа, которая утверждается проектом на весь срок разработки месторождения.

При определении высоты уступа необходимо учитывать физико-механические свойства разрабатываемых пород, применяемое оборудование, горнотехнические и климатические условия. Согласно пункту 974 Приказа Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 8.12.2020 г. № 505 «Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила безопасности при ведении горных работ и переработке твердых полезных ископаемых» образование козырьков и нависей на уступах не допускается. Это означает, что кинематическая схема движения ковша экскаватора должна обес-

Рис. 1. Классификация методов разработки месторождений ПГС гидравлическими экскаваторами
Fig. 1. Classification of sand-and-gravel deposit mining methods using hydraulic excavators

Таблица 1

Параметры рассматриваемых экскаваторно-автомобильных комплексов
Parameters of truck-and-shovel mining systems under analysis

Марка экскаватора	Модель экскаватора	Параметры					Возможная модель автосамосвала	Грузо-подъемность, т
		вмести-мость ковша, м^3	высота черпания max, м	глубина черпания max, м	радиус черпания max, м	высота разгрузки max, м		
Komatsu	PC-220-8MO	1,0	10,0	6,9	10,2	7,0	KAMAZ-53605-48 (A5)	11,7
	PC300-8MO	1,4	10,1	7,4	11,1	7,0	KAMAZ-65111-50	14,0
	PC400-7	1,9	10,9	7,8	12,0	7,6	KAMAZ-6520-49 (B5)	20,0
	PC500LC-10MO	2,5	10,9	7,7	12,0	7,7	KAMAZ-6580-87(S5)	25,5
	PC800-8EO	4,5	11,8	8,6	13,7	8,1	KOMATSU HD-405-7	40
	PC1250-8	6,7	13,4	9,4	15,4	8,7	БЕЛАЗ-7555E	60
	PC2000-8	12,0	13,4	9,2	15,8	8,7	БЕЛАЗ-75135	110,0
Hitachi	ZX180LC-5G	0,9	9,4	6,6	9,4	6,6	KAMAZ-53605-48 (A5)	11,7
	ZX300-5A	1,4	10,3	7,2	10,7	7,3	KAMAZ-65111-50	14,0
	ZX380LC-5G	2,1	10,3	7,4	11,1	7,2	KAMAZ-6520-49 (B5)	20,0
	ZX670LC-5G	2,5	11,9	8,5	13,3	8,1	KAMAZ-6580-87(S5)	25,5
	ZX870-5G	3,7	13,3	8,9	14,1	9,1	KAMAZ-65801-68(T5)	32,5
	EX1200-7	5,2	12,3	8,1	13,8	8,0	БЕЛАЗ-7545	45
	EX1900-6	12,0	14,1	8,2	15,3	9,1	БЕЛАЗ-75135	110,0

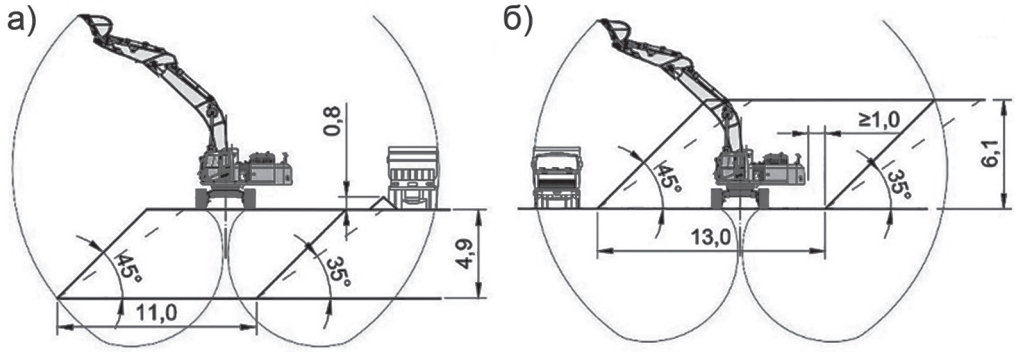

Рис. 2. Типовые технологические схемы ведения добычных работ экскаватором Komatsu PC-500LC-10MO [составлено авторами]: экскаватор располагается на кровле уступа, работу ведет нижним черпанием (а); экскаватор располагается на подошве уступа, работу ведет верхним черпанием (б)

Fig. 2. Standard flow charts for mining using hydraulic excavator PC-500LC-10M0 (authorial): excavator is set on the bench roof to implement downward digging (a); excavator is placed on the bench floor to implement upward digging (b)

печивать полную отработку уступа/подуступа заданной высоты.

В данном исследовании высота уступов/подуступов обосновывается исходя из кинематической схемы движения ковша экскаватора, правил безопасности и физико-механических свойств пород. Рабочий угол откоса равен 45°, устойчивый угол откоса ПГС в сухом состоянии находится в диапазоне 30—40°, в работе принято значение 35°, устойчивый угол откоса ПГС в обводненном состоянии принят равным 30°. Высота уступа в каждой технологической схеме принималась при максимально возможной ширине заходки гидравлического экскаватора.

Результаты и их обсуждение

Проанализировав основные источники литературы и производственный опыт, можно выделить типовые технологические схемы работы гидравлических экскаваторов типа обратная лопата, представленные на рис. 2.

Установлено, что при расположении гидравлического экскаватора Komatsu PC-500LC-10MO на кровле уступа, имеющего рабочий и устойчивый угол откоса 45° и 35° соответственно, возмож-

Таблица 2

Возможная высота разрабатываемого слоя для базовых технологических схем ведения добычных работ
Possible cutting layer heights in basic mining flow charts

Модель экскаватора	Высота разрабатываемого слоя при верхнем черпании, м	Высота разрабатываемого слоя при нижнем черпании, м
PC-220-8MO	5,4	4,0
PC300-8MO	5,6	4,6
PC400-7	6,5	4,9
PC500LC-10MO	6,1	4,9
PC800-8EO	6,8	5,6
PC1250-8	8,1	6,1
PC2000-8	7,7	6,1
ZX180LC-5G	4,7	3,7
ZX300-5A	5,6	4,1
ZX380LC-5G	5,6	4,5
ZX670LC-5G	7,1	5,3
ZX870-5G	7,0	5,5
EX1200-7	6,7	5,3
EX1900-6	6,9	5,7

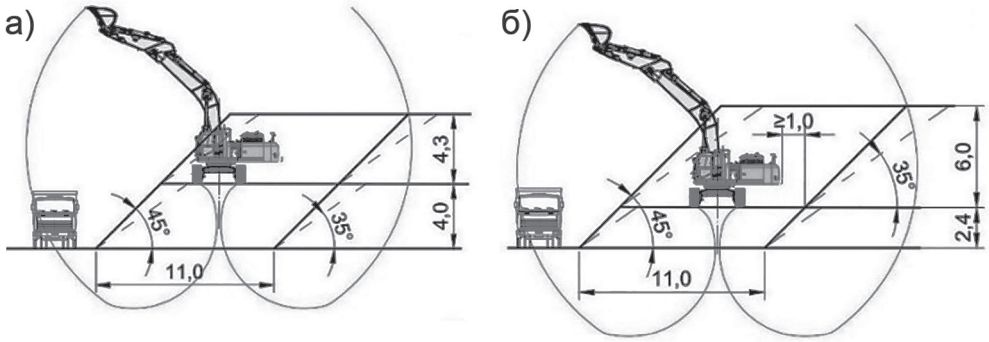

Рис. 3. Технологические схемы ведения добычных работ экскаватором Komatsu PC-500LC-10MO на подуступе с нижней погрузкой: схема с акцентом на нижнее черпание (а); схема с акцентом на верхнее черпание (б)

Fig. 3. Excavation flow charts with excavator Komatsu PC-500LC-10M0 set on sub-bench for downward loading: downward digging (a); upward digging (b)

ная высота разрабатываемого слоя может достигать 4,9 м, а ширина заходки 11 м (рис. 2, *а*); при установке гидравлического экскаватора этой же модели на подошве уступа, имеющего рабочий и устойчивый угол откоса 45° и 35° со-

Таблица 3

Возможная высота разрабатываемого слоя при использовании гидравлического экскаватора на подуступе с нижней погрузкой
Possible cutting layer heights for hydraulic excavators set on sub-bench for downward loading of dump trucks

Модель экскаватора	Параметры					
	высота нижнего подуступа (акцент на верхнее черпание), м	высота верхнего подуступа (акцент на верхнее черпание), м	сумма высот подуступов, м	высота нижнего подуступа (акцент на нижнее черпание), м	высота верхнего подуступа (акцент на нижнее черпание), м	сумма высот подуступов, м
PC-220-8MO	2,5	5,5	8	3,6	4,3	7,9
PC300-8MO	2,2	6,0	8,2	4,0	4,3	8,3
PC400-7	2,2	6,1	8,3	4,0	5,0	9
PC500LC-10MO	2,4	6,0	8,4	4,0	4,3	8,3
PC800-8EO	3,6	6,9	10,5	5,0	5,9	10,9
PC1250-8	3,0	8,2	11,2	5,2	6,1	11,3
PC2000-8	2,4	7,8	10,2	4,2	6,0	10,2
ZX180LC-5G	1,7	4,8	6,5	3,0	3,7	6,7
ZX300-5A	2,1	5,7	7,8	3,7	4,4	8,1
ZX380LC-5G	1,9	5,7	7,6	3,9	3,7	7,6
ZX670LC-5G	2,7	7,1	9,8	5,0	5,1	10,1
ZX870-5G	3,8	7,1	10,9	4,9	6,4	11,3
EX1200-7	4,0	6,7	10,7	4,0	6,7	10,7
EX1900-6	2,8	6,9	9,7	4,3	5,7	10,0

ответственно, возможная высота разрабатываемого слоя может достигать 6,1 м, а ширина заходки 13 м (рис. 2, *б*).

В ходе исследования далее были проанализированы основные технологические параметры гидравлических экскаваторов и составлена табл. 2, в которой отражена возможная высота разрабатываемого слоя.

Малоизученной является технологическая схема отработки месторождений ПГС при использовании гидравлических экскаваторов типа обратная лопата с расположением данного оборудования на подуступе. При такой работе экскаватора появляется возможность совмещать верхнее и нижнее черпание и при необходимости увеличить высоту разрабатываемого слоя на начальном этапе проектирования предприятия (рис. 3).

В современных условиях разработки наиболее распространенным методом ведения добычных работ на подуступе является вариант с нижней погрузкой. Данная схема позволяет разрабатывать уступы на всю высоту одним проходом, и может применяться при разработке мощных залежей необводненных ПГС. При делении на подуступы появляется возможность более эффективно использовать верхнее или нижнее черпание гидравлического экскаватора типа обратная лопата, при этом можно варьировать величину верхнего или нижнего подуступа. Сравнение возможных конфигураций приведено в табл. 3.

Схема ведения добычных работ на подуступе с верхней погрузкой (рис. 4) распространена в значительно меньшей степени, что связано с некоторым сни-

Таблица 4

Возможная высота разрабатываемого слоя при использовании гидравлического экскаватора на подуступе с верхней погрузкой
Possible cutting layer heights for hydraulic excavators set on sub-bench for top loading of dump trucks

Модель экскаватора	**Параметры**		
	Высота нижнего подуступа, м	**Высота верхнего подуступа, м**	**Сумма высот подуступов, м**
PC-220-8MO	3,3	1,7	5,0
PC300-8MO	3,4	1,7	5,1
PC400-7	3,9	1,9	5,8
PC500LC-10MO	3,7	1,7	5,4
PC800-8EO	3,9	1,9	5,8
PC1250-8	4,6	2,5	7,1
PC2000-8	6,0	1,1	7,1
ZX180LC-5G	3,0	1,5	4,5
ZX300-5A	3,1	1,7	4,8
ZX380LC-5G	3,3	1,7	5,0
ZX670LC-5G	3,6	2,3	5,9
ZX870-5G	3,9	2,5	6,4
EX1200-7	4,9	1,7	6,6
EX1900-6	5,2	1,3	6,5

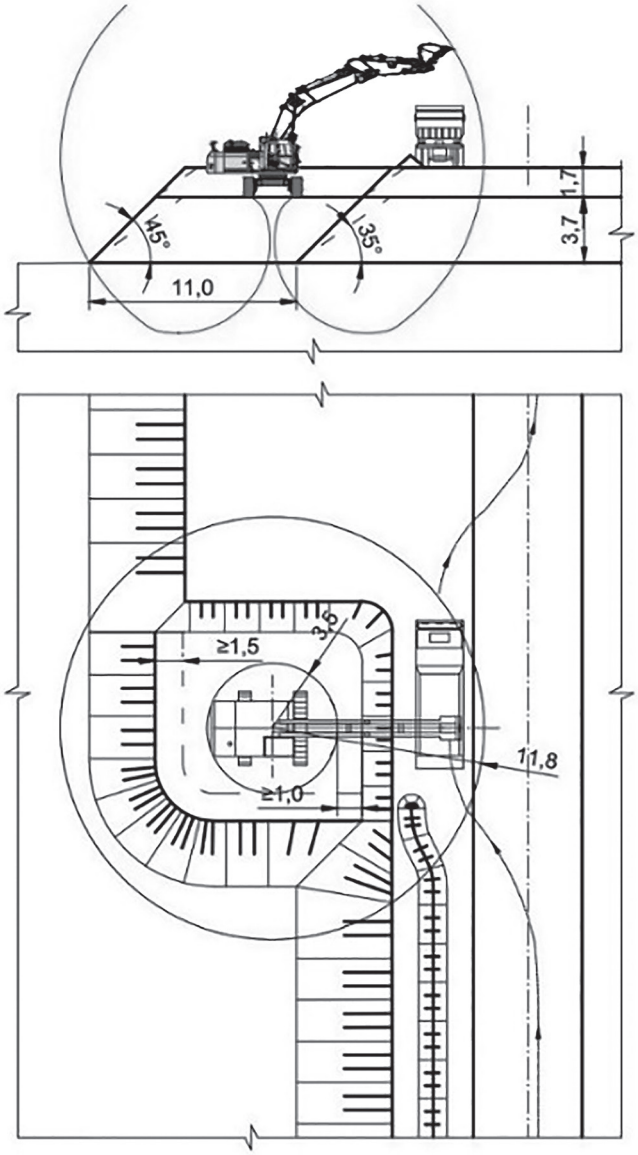

Рис. 4. Технологическая схема ведения добычных работ экскаватором Komatsu PC-500LC-10MO на подуступе с верхней погрузкой
Fig. 4. Excavation flow charts with excavator Komatsu PC-500LC-10M0 set on sub-bench for top loading

жением производительности. При использовании данной схемы необходимо более детально учитывать кинематическую схему движения ковша экскаватора в каждом частном случае, возможность разгрузки экскаватора, места установки и габариты транспортных средств на вышележащем горизонте. Однако данная схема имеет и свои преимущества по сравнению с нижней погрузкой. Схема с верхней погрузкой при расположении экскаватора на подуступе позволяет отрабатывать слой полезного ископаемого большей мощности по сравнению со

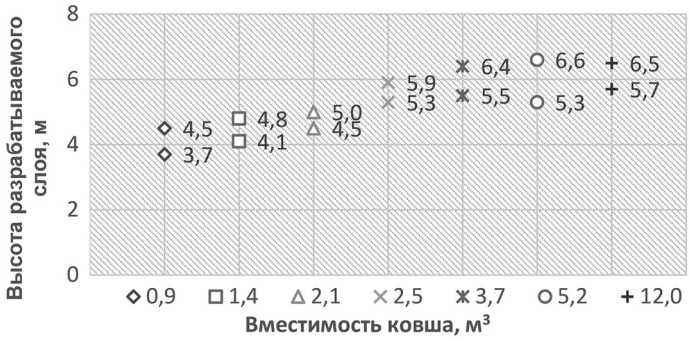

Рис. 5. Сравнение высоты разрабатываемого слоя в схемах при делении на подуступы при верхней погрузке и расположении экскаватора на кровле для модельного ряда фирмы Hitachi

Fig. 5. Cutting layer heights in flow charts with sub-benches and top loading and with excavator placed on the bench roof for Hitachi excavator models

схемой расположения экскаватора на верхней рабочей площадке. Значения высоты разрабатываемого слоя для рассматриваемых экскаваторов приведены в табл. 4.

На основе данных табл. 2 и 4 выполним сравнение высоты разрабатываемого слоя при расположении экскаватора на кровле и при делении на подуступы при верхней погрузке в транспортные средства. Графически данное сравнение приведено на рис. 5 и 6. Для наглядности на ось абсцисс вынесены не наименования моделей экскаваторов Hitachi и Komatsu, а их вместимость ковша по возрастанию. Верхний ряд точек соответствует схеме при делении на подуступы при верхней погрузке в транспортные средства, нижний — на кровле.

Анализ рис. 5 и 6 позволяет сделать вывод, что при верхней погрузке высота разрабатываемого слоя при делении на подуступы больше, чем при нижнем черпании и расположении экскаватора на кровле, вследствие более полного использования параметров гидравлического экскаватора. При этом дальность транспортирования при данных схемах остается постоянной, так как погрузка осуществляется на одном и том же горизонте.

На примере разработки типового месторождения ПГС нами предлагается сравнить схему с расположением экс-

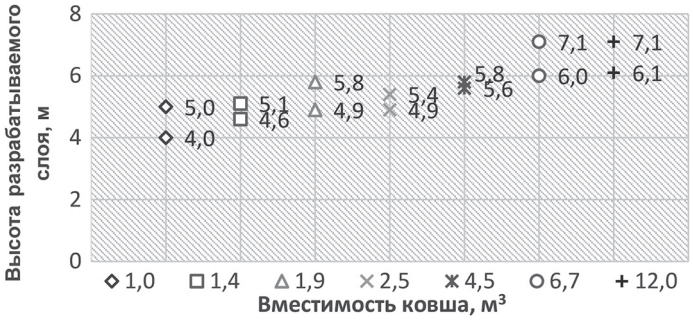

Рис. 6. Сравнение высоты разрабатываемого слоя в схемах при делении на подуступы при верхней погрузке и расположении экскаватора на кровле для модельного ряда фирмы Komatsu

Fig. 6. Cutting layer heights in flow charts with sub-benches and top loading and with excavator placed on the bench roof for Komatsu excavator models

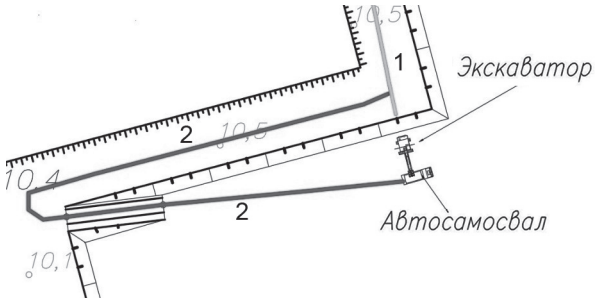

Рис. 7. Транспортирование в исходном варианте (линия 2) и при верхней погрузке (линия 1)
Fig. 7. Haulage in reference scenario (line 2) and in top loading (line 1)

каватора на подошве и на подуступе с верхней погрузкой с точки зрения изменения затрат на транспортирование горной массы. Разработка добычного уступа производится экскаватором Komatsu PC300-8MO. Проектная высота уступа составляет 5 м.

При использовании экскаватора на кровле при нижнем черпании возможная высота разрабатываемого слоя будет ограничена значением 4,6 м.

При расположении экскаватора на подуступе и работе его с верхней погрузкой расстояние транспортирования будет меньшим, чем при схеме работы с нижней погрузкой. Сокращение расстояния транспортирования зависит от высоты разрабатываемого уступа, как следствие — от длины внутренней наклонной траншеи, а также расстояния от точки установки экскаватора в конкретный момент времени до наклонной траншеи (рис. 7).

Экономический эффект от использования схемы с верхней погрузкой и расположением экскаватора на подуступе по сравнению со схемой, когда экскаватор находится на подошве уступа, не рассчитывался в связи с постоянными колебаниями цен на топливо, ГСМ, шины и т.д. Поэтому нами предложено использовать технологический эффект, а именно возможное снижение пробега средне-списочного автосамосвала при сохранении производительности. Результаты представлены в табл. 5.

Таблица 5

Сокращение затрат на транспортирование при использовании схемы с верхней погрузкой автотранспорта
Haulage cost saving in flow chart with top loading of dump trucks

Параметры и показатели	Нижняя погрузка (экскаватор на подошве)	Верхняя погрузка (экскаватор на подуступе)
Высота разрабатываемого слоя, м	5,6	5,1
Проектная высота уступа, м	5,0	
Количество автосамосвалов, шт.	2	
Средняя дальность транспортирования, км	1,0	0,8
Число рейсов в смену, шт.	24	24
Количество рабочих смен в год, шт.	700	700
Сменный пробег автосамосвала, км	48	38,4
Годовой пробег автосамосвала, км	33 600	26 880

Заключение

По итогам проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

• в схеме ведения добычных работ с установкой экскаватора на подуступе и использованием нижней погрузки суммарная высота уступа остается постоянной вне зависимости от того, на какой вид черпания делается акцент — нижнее или верхнее;

• при работе гидравлического экскаватора типа обратная лопата с установкой на подуступе и верхней погрузкой высота разрабатываемого уступа в среднем на 10—15% больше, чем при схеме с нижним черпанием и нижней погрузкой;

• технологический эффект от использования схемы работы экскаватора с установкой на подуступе и верхней погрузкой достигается за счет либо снижения годового пробега автосамосвала при сохранении базового значения производительности, либо увеличения производительности при постоянной величине годового пробега.

Коллектив авторов выражает благодарность за помощь в редактировании статьи профессору кафедры «Открытые горные работы» Кузбасского государственного технического университета имени Т.Ф. Горбачева» М.А. Тюленеву.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Холодняков Г. А.*, *Логинов Е. В.*, *Ву Дык Туан* Малоотходная открытая разработка полезных ископаемых с помощью гидравлических экскаваторов // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2017. — № 1. — С. 357—363.

2. *Фомин С. И.* Обоснование технологических решений при организации отработки рудных карьеров // Записки Горного института. — 2016. — Т. 221. — С. 644—650. DOI: 10.18454/spmi.2016.5.644.

3. *Анистратов К. Ю.* Анализ рынка карьерных экскаваторов и самосвалов в РФ и странах СНГ // Горная промышленность. — 2012. — № 2. — С. 16—19.

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.

5. *Анистратов К. Ю.*, *Козубский А. М.*, *Фурин В. О.* Проект стратегического развития УЗТМ-КАРТЭКС «Освоение серийного производства карьерных гидравлических экскаваторов» / Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности. Сборник трудов XV международной научно-технической конференции. — Екатеринбург, 2017. — С. 37—40.

6. *Лапшин Н. С.* Анализ технологических схем переработки песчано-гравийной смеси / Новая наука как результат инновационного развития общества. Сборник статей Международной научно-практической конференции. Ч. 5. — Уфа, 2017. — С. 173—175.

7. *Лапшин Н. С.*, *Фомин С. И.* Принципы построения технологических схем переработки песчано-гравийных смеси на притрассовых карьерах с малой производительностью // Наука и бизнес: пути развития. — 2019. — № 102. — С. 97—101.

8. *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.

9. *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.

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

11. *Jung T., Raduenz H., Krus P., De Negri V., Lee J.* Boom energy recuperation system and control strategy for hydraulic hybrid excavators // Automation in Construction. 2022, vol. 135, article 104046. DOI: 10.1016/j.autcon.2021.104046.

12. *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.

13. *Побегайло П. А., Крицкий Д. Ю., Гильманшина Т. Р.* Износ элементов карьерных экскаваторов: анализ современного состояния проблемы // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2021. — № 2. — С. 64–74. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-2-0-64-74.

14. *Kholmskiy A. V., Sidorov D. V.* Arrangements for increase the efficiency of mining operations on the deep ore mines / Scientific and Practical Studies of Raw Material Issues. CRC Press, 2019, pp. 71–74. DOI: 10.1201/9781003017226-10.

15. *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.

16. *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.

17. *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.

18. *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.

19. *Лигоцкий Д. Н.* Минимальная мощность пластов, разрабатываемых селективно с помощью гидравлических экскаваторов типа обратная лопата // Записки Горного института. — 2013. — Т. 205. — С. 44—46.

20. *Кацубин А. В., Хорешок А. А., Тюленев М. А., Марков С. О.* Технология опережающей выемки наклонных и крутых угольных пластов обратными гидравлическими лопатами // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2020. — № 11. — С. 27—36. DOI: 10.26730/1999-4125-2021-3-104-112.

21. *Loginov E., Ligotsky D., Argimbaev K.* Averaging the operating stripping ratio for sinking mining systems based on mathematical simulation // Journal of Physics: Conference Series. 2020, vol. 1614, no. 1, article 012050. DOI: 10.1088/1742-6596/1614/1/012050.

22. *Марков С. О., Тюленев М. А., Мурко Е. В., Литвин О. И.* Исследование структурных, физико-технических и механических параметров техногенных породных массивов // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2018. — № S49. — С. 525—534. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-11-49-525-534.

23. *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.

24. *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/s40032-021-00725-4.

25. *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.

26. *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. ГИАБ

REFERENCES

1. Kholodnyakov G. A., Loginov E. V., Vu Duc Tuan Low-waste open-pit minings using hydraulic excavators. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2017, no. 1, pp. 357 – 363. [In Russ].

2. Fomin S. I. Foundations for technical solutions in organizing excavation of open ore pits. *Journal of Mining Institute*. 2016, vol. 221, pp. 644 – 650. [In Russ]. DOI: 10.18454/spmi.2016.5.644.

3. Anistratov K. Yu. Analysis of the market of career excavators and dump trucks in the Russian Federation and CIS countries. *Russian Mining Industry Journal*. 2012, no. 2, pp. 16 – 19. [In Russ].

4. Anistratov K. Yu., Lukichev S. V., Isaychenkov A. B. Comparative analysis of the efficiency of using rope and hydraulic excavators. *Gornyi Zhurnal*. 2020, no. 12, pp. 74 – 78. [In Russ].

5. Anistratov K. Yu., Kozubskiy A. M., Furin V. O. Strategic development project of UZTM-KARTEKS «Mastering the mass production of open-pit hydraulic excavators». *Tekhnologicheskoe oborudovanie dlya gornoy i neftegazovoy promyshlennosti. Sbornik trudov XV mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [Technological equipment for the mining and oil and gas industry. Proceedings of the XV International Scientific and Technical Conference], Ekaterinburg, 2017, pp. 37 – 40. [In Russ].

6. Lapshin N. S. Analysis of technological schemes for processing sand-gravel mixture. *Novaya nauka kak rezul'tat innovatsionnogo razvitiya obshchestva. Sbornik statey Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. Ch. 5 [New science as a result of innovative development of society. Collection of articles of the International Scientific and Practical Conference. Part 5], Ufa, 2017, pp. 173 – 175. [In Russ].

7. Lapshin N. S., Fomin S. I. Principles of construction of technological schemes for processing sand-and-gravel mixtures in near-route quarries with low productivity. *Nauka i biznes: puti razvitiya*. 2019, no. 102, pp. 97 – 101. [In Russ].

8. 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.

9. Ivanov V. V., Dzyurich D. O. Justification of the technological scheme parameters for the development of flooded deposits of construction sand. *Journal of Mining Institute*. 2022, vol. 253, pp. 33 – 40. [In Russ]. DOI: 10.31897/PMI.2022.3.

10. 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.

11. Jung T., Raduenz H., Krus P., De Negri V., Lee J. Boom energy recuperation system and control strategy for hydraulic hybrid excavators. *Automation in Construction*. 2022, vol. 135, article 104046. DOI: 10.1016/j.autcon.2021.104046.

12. 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.

13. Pobegailo P. A., Kritskiy D. Yu., Gilmanshina T. R. Wear of mining shovel components: Current situation and analysis. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021, no. 2, pp. 64–74. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-2-0-64-74.

14. Kholmskiy A. V., Sidorov D. V. Arrangements for increase the efficiency of mining operations on the deep ore mines. *Scientific and Practical Studies of Raw Material Issues*. CRC Press, 2019, pp. 71–74. DOI: 10.1201/9781003017226-10.

15. 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.

16. 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].

17. Litvin O. I., Litvin Ya. O., Tyulenev M. A. On determining the parameters of bottom-hole 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.

18. 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].

19. Ligotsky D. N. Minimum thickness of seams developed selectively using hydraulic backhoes. *Journal of Mining Institute*. 2013, vol. 205, pp. 44 — 46. [In Russ].

20. Katsubin A. V., Khoreshok A. A., Tyulenev M. A., Markov S. O. Technology of advance cutting of sloping and steeply pitching coal seams using hydraulic backhoe excavators. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020, no. 11, pp. 27 — 36. [In Russ]. DOI: 10.26730/1999-4125-2021-3-104-112.

21. Loginov E., Ligotsky D., Argimbaev K. Averaging the operating stripping ratio for sinking mining systems based on mathematical simulation. *Journal of Physics: Conference Series*. 2020, vol. 1614, no. 1, article 012050. DOI: 10.1088/1742-6596/1614/1/012050.

22. Markov S. O., Tyulenev M. A., Murko E. V., Litvin O. I. Study of structural, physical-technical and mechanical parameters of technogenic rock massifs. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2018, no. S49, pp. 525 — 534. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-11-49-525-534.

23. 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.

24. 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/s40032-021-00725-4.

25. Drebenstedt C., Argimbaev K. R. Korkinsk brown coal open pit as a case study of endogenous fires. I*nternational Journal of Engineering, Transactions A: Basics*. 2021, vol. 34, no. 1, pp. 292–304.

26. 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.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Логинов Егор Вячеславович[1] — канд. техн. наук,
старший преподаватель, e-mail: loginov_ev@pers.spmi.ru,
ORCID ID: 0000-0003-3965-0839,
Вольф Вячеслав Вячеславович[1] — студент,
e-mail: volfclavan@mail.ru,
[1] Санкт-Петербургский горный университет
Для контактов: Логинов Е.В., e-mail: loginov_ev@pers.spmi.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

E.V. Loginov[1], Cand. Sci. (Eng.), Senior Lecturer,
e-mail: loginov_ev@pers.spmi.ru,
ORCID ID: 0000-0003-3965-0839,
V.V. Volf[1], Student, e-mail: volfclavan@mail.ru,
[1] Saint-Petersburg Mining University, 199106, Saint-Petersburg, Russia.
Corresponding author: E.V. Loginov, e-mail: loginov_ev@pers.spmi.ru.

Получена редакцией 25.03.2022; получена после рецензии 06.05.2022; принята к печати 10.07.2022.
Received by the editors 25.03.2022; received after the review 06.05.2022; accepted for printing 10.07.2022.