

# Об определении параметров забойных блоков при ведении горных работ обратными гидравлическими лопатами

О.И. Литвин<sup>1</sup>, Я.О. Литвин<sup>2</sup>, М.А. Тюленев<sup>1,3</sup>✉, С.О. Марков<sup>1,4</sup>

<sup>1</sup>Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева, г. Кемерово, Российская Федерация

<sup>2</sup>АО УК «Кузбассразрезуголь», г. Кемерово, Российская Федерация

<sup>3</sup>Технический университет Кошице, г. Кошице, Республика Словакия

<sup>4</sup>Филиал Кузбасского государственного технического университета им. Т.Ф. Горбачева в г. Междуреченске, г. Междуреченск, Российская Федерация

✉ tma.geolog@kuzstu.ru

**Резюме:** Обратные гидравлические лопаты получили широкое применение на открытых горных работах Кузнецкого угольного бассейна начиная с начала 2000-х гг. В настоящее время их число растет с каждым годом как в силу начала работ на новых участках, так и вследствие их достоинств. Однако до сих пор параметры их работы, в частности, параметры забойных блоков, зачастую принимаются по фактическим данным, т.е. накопленному опыту горных предприятий, а не рассчитываются по утвержденным научно обоснованным методикам. В данной статье авторами приведены некоторые предпосылки к созданию единой методики расчета параметров забойных блоков в зависимости от горно-геологических и горнотехнических условий. Отмечается, что производителями выемочной техники приводятся данные, соответствующие максимально возможным параметрам работы оборудования, в частности, высоты обрабатываемого слоя, вследствие чего их достаточно сложно применять на практике. Сделаны предварительные выводы о необходимости учета многообразия вышеуказанных условий и их взаимосвязки с параметрами конкретной модели выемочно-погрузочного оборудования.

**Ключевые слова:** обратная гидравлическая лопата, выемочно-погрузочные работы, забойный блок, породугольная панель, глубина черпания, радиус черпания, физико-механические свойства породы

**Для цитирования:** 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):76–81. DOI: 10.30686/1609-9192-2021-6-76-81.

## On determining the parameters of face blocks during mining operations with backhoes

O.I. Litvin<sup>1</sup>, Ya.O. Litvin<sup>2</sup>, M.A. Tyulenev<sup>1,3</sup>✉, S.O. Markov<sup>1,4</sup>

<sup>1</sup>T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Kemerovo, Russian Federation

<sup>2</sup>UK Kuzbassrazrezugol JSC, Kemerovo, Russian Federation

<sup>3</sup>Technical University of Kosice, Slovak Republic

<sup>4</sup>Mezhdurechensk Branch of the T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Mezhdurechensk, Russian Federation

✉ tma.geolog@kuzstu.ru

**Abstract:** The backhoe hydraulic shovels (backhoes) have been widely used in open-pit mining operations in the Kuznetsk coal basin since the early 2000s. Now their number is growing every year, both because new operations begin on new sites, and because of the backhoe advantages. However, up to now parameters of their operation, more particularly the parameters of the face blocks, are often taken according to the actual data, i.e. based on the accumulated experience of the mining companies, and are not calculated using the approved scientifically validated methods. In the given article the authors give some preconditions for creation of a uniform methodology to calculate parameters of the face blocks depending on mining-geological and mining-technical conditions. It is noted that the manufacturers of excavation equipment quote the data corresponding to the maximum possible parameters of the equipment operation, in particular the height of the excavated layer, as a result of which it is rather difficult to apply this in practice. Preliminary conclusions about the need to take into account the diversity of the above conditions and their interrelation with the parameters of a particular model of the excavation and loading equipment have been made.

**Keywords:** backhoe, excavation and loading operations, face block, rock-and-coal panel, digging depth, digging radius, physical and mechanical properties of rocks

**For citation:** Litvin O.I., Litvin Ya.O., Tyulenev M.A., Markov S.O. On determining the parameters of face blocks during mining operations with backhoes. *Gornaya promyshlennost = Russian Mining Industry*. 2021;(6):76–81. DOI: 10.30686/1609-9192-2021-6-76-81.

**Введение**

Одним из первоочередных научных направлений для повышения эффективности применения обратных гидравлических лопат на открытых горных работах является обоснование параметров выемочного блока в зависимости от условий ведения горных работ и режима черпания экскаватора, для чего необходимо провести систематизацию технологических режимов выемочно-погрузочных работ.

Обратные гидравлические лопаты могут работать как с нижним, так и верхним черпанием с погрузкой на уровне стояния, выше уровня и ниже уровня стояния экскаватора в автомобильный транспорт [1–3]. Поэтому классификационными признаками режимов работы гидравлических экскаваторов являются следующие:

- 1) тип экскаватора (прямая, обратная гидролопата);
- 2) вид выполняемых работ (отработка рыхлых отложений, взорванной породы, навалов и т.д.);
- 3) вид выемки (верхняя; нижняя; комбинация верхней и нижней);
- 4) способ погрузки (на уровне стояния; верхняя; нижняя).

В зависимости от технологического режима выемочно-погрузочных работ определяется основной показатель эффективности обратных гидравлических лопат – их производительность [4].

Существенное влияние на производительность экскаватора оказывает высота забоя [5; 6], связанная с технологической глубиной копания экскаватора, которая, в свою очередь, определяется исходя из паспортной максимальной глубины копания, траектории черпания и условий работы.

Условия работы определяются углом откоса забоя при отработке уступа без БВР, с применением БВР и при выемке угольных пластов.

**Материалы и методы**

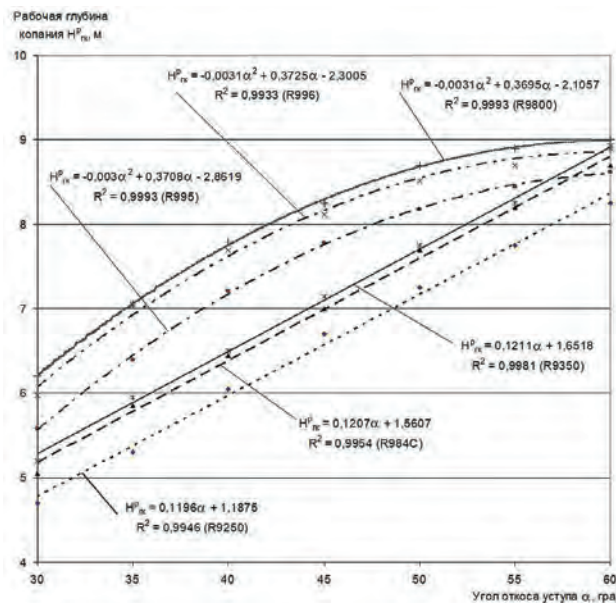
Для некоторых моделей применяемых в Кузбассе обратных гидравлических лопат величины рабочей глубины копания в зависимости от угла наклона забоя с нижней погрузкой, полученные графоаналитическим путём, представлены в табл. 1.

**Таблица 1**  
Зависимость рабочей глубины копания обратных гидравлических лопат  $H_{ГК}^P$ , м, от угла откоса забоя  $\alpha$ , град

**Table 1**  
Dependence of the backhoe working depth  $H_{ГК}^P$ , m, on the slope angle  $\alpha$ , deg

$\alpha$ , град	Модель гидравлического экскаватора (фирма-производитель Liebherr), вместимость ковша					
	R984C, 6,7 м <sup>3</sup>	R9250, 15 м <sup>3</sup>	R9350, 18 м <sup>3</sup>	R995, 26,5 м <sup>3</sup>	R996, 33 м <sup>3</sup>	R9800, 42 м <sup>3</sup>
30	5,05	4,70	5,20	5,60	6,00	6,21
35	5,85	5,30	5,95	6,40	7,05	7,15
40	6,45	6,05	6,50	7,21	7,69	7,80
45	7,00	6,70	7,15	7,78	8,12	8,25
50	7,70	7,25	7,75	8,18	8,51	8,70
55	8,20	7,75	8,25	8,44	8,70	8,90
60	8,70	8,25	8,90	8,62	8,93	9,00

В результате анализа этих значений получены адекватные ( $R^2 > 0,99$ ) зависимости рабочей глубины копания экскаватора от угла откоса забоя при работе с нижним черпанием и погрузкой на уровне стояния. Указанные зависимости представлены на рис. 1.



**Рис. 1**  
Графики зависимостей рабочей глубины копания обратных гидролопат от угла откоса забоя (погрузка на уровне стояния экскаватора)

**Fig. 1**  
Graphical representation of the dependences of the working depth of the hydraulic backhoes and the slope angle of the face (loading at the backhoe level)

**Результаты и обсуждение**

Анализ полученных зависимостей приводит к следующим предварительным выводам:

1. Характер изменения рабочей глубины копания представленных моделей гидравлических экскаваторов от угла откоса забоя может быть как линейным, так и нелинейным. При вместимости ковша до 20 м<sup>3</sup> зависимость является линейной, свыше 20 м<sup>3</sup> она переходит в квадратичную.
2. Линейная зависимость имеет следующий вид:

$$H_{ГК}^P = b \cdot \alpha + K_h, \tag{2}$$

где  $\alpha$  – угол откоса уступа, град;  $b$  – коэффициент, учитывающий изменение рабочей глубины копания в зависимости от угла откоса уступа, м/град;  $K_h$  – постоянная составляющая глубины копания, зависящая от параметров рабочего оборудования конкретной марки и модели экскаватора, м.

Поскольку коэффициент  $b$  для данных моделей обратных лопат различается всего на 0,0015, что составляет 1,2%, то этой погрешностью можно пренебречь и записать данную зависимость в виде

$$H_{ГК}^P = 0,12 \cdot \alpha + K_h. \tag{3}$$

Показатель  $K_h$  изменяется в зависимости от марки и модели экскаватора, поскольку модели каждой фирмы-производителя имеют свои геометрические особенности конструкции стрелы, рукоятки, ковша и их расположения на поворотной платформе.

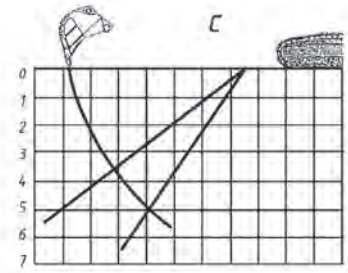
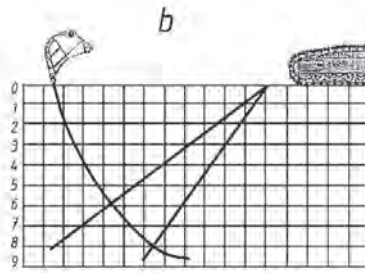
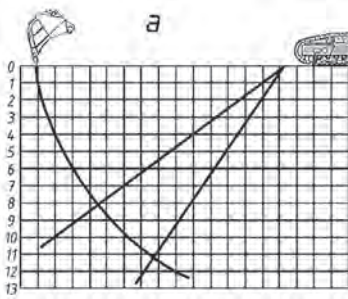
3. Квадратичная зависимость рабочей глубины копания гидравлических экскаваторов от угла откоса забоя имеет следующий вид:

$$H_{ГК}^P = -x \cdot \alpha^2 + b \cdot \alpha - K_h, \tag{4}$$

где  $x$  и  $b$  – коэффициенты уравнения.

В общем виде (погрешность определения коэффициентов не превышает 1,1%) данную зависимость можно представить как

$$H_{ГК}^P = -0,003 \cdot \alpha^2 + 0,37 \cdot \alpha - K_h. \tag{5}$$

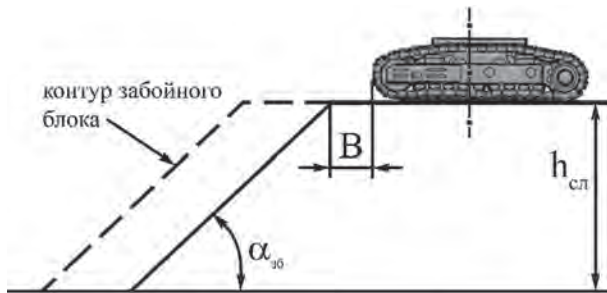


**Рис. 2**  
Траектории движения ковша для различных моделей обратных гидролопат:  
а – Liebherr R984C;  
б – Liebherr R994L;  
с – Caterpillar 330DL

**Fig. 2**  
Trajectories of bucket movement for different models of backhoes:  
a – Liebherr R984C;  
b – Liebherr R994L;  
c – Caterpillar 330DL

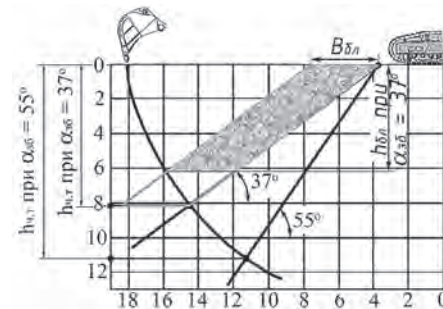
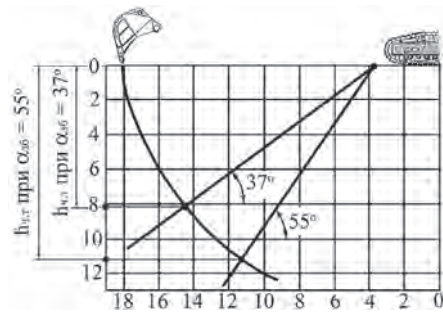
Полученные результаты позволяют аналитически определять эффективную глубину копания обратных гидравлических лопат исходя из их рабочих параметров и угла откоса уступа.

Но известно, что каждая фирма-производитель в своих буклетах демонстрирует максимально возможную (предельную) траекторию черпания гидравлических экскаваторов (рис. 2). В частности, максимальная глубина черпания, исходя из представленных данных, практически недостижима.



**Рис. 3**  
К учету влияния параметров забойного блока на высоту отработываемого слоя  $h_{сл}$ . На рисунке:  $\alpha_{36}$  – угол откоса забоя;  $B$  – расстояние от верхней бровки до гусеничного хода экскаватора

**Fig. 3**  
Regarding the influence of the face block parameters on the height of the excavated layer  $h_l$ . In the figure:  $\alpha_{36}$  – slope angle of the face;  $B$  – distance from the top edge to the backhoe crawler track



**Рис. 4**  
К определению параметров забойного блока при угле откоса забоя  $37^\circ$

**Fig. 4**  
On determining the parameters of the face block at  $37^\circ$  slope angle

Поясним это на конкретных примерах.

При отработке породных (угольных) блоков экскаватор чаще всего работает нижним черпанием с нижней погрузкой, поскольку в таком режиме работы обеспечивается максимальная производительность выемочно-погрузочного комплекса вследствие минимального времени цикла экскаватора [7–9]. Однако в этом случае необходимо учитывать два фактора: во-первых, ширину отработываемого забойного блока, параметры которого изучены не в полной мере, и, во-вторых, параметры применяемого автомобильного транспорта.

При установке экскаватора (рис. 4) в положение для отработки забойного блока его объем будет определяться исходя не из теоретической глубины черпания ( $h_{ч.т.}$ ), а из фактической  $h_{бл.}$ , обеспечивающей выемку всего блока заданной (определенной) ширины  $B_{бл.}$ .

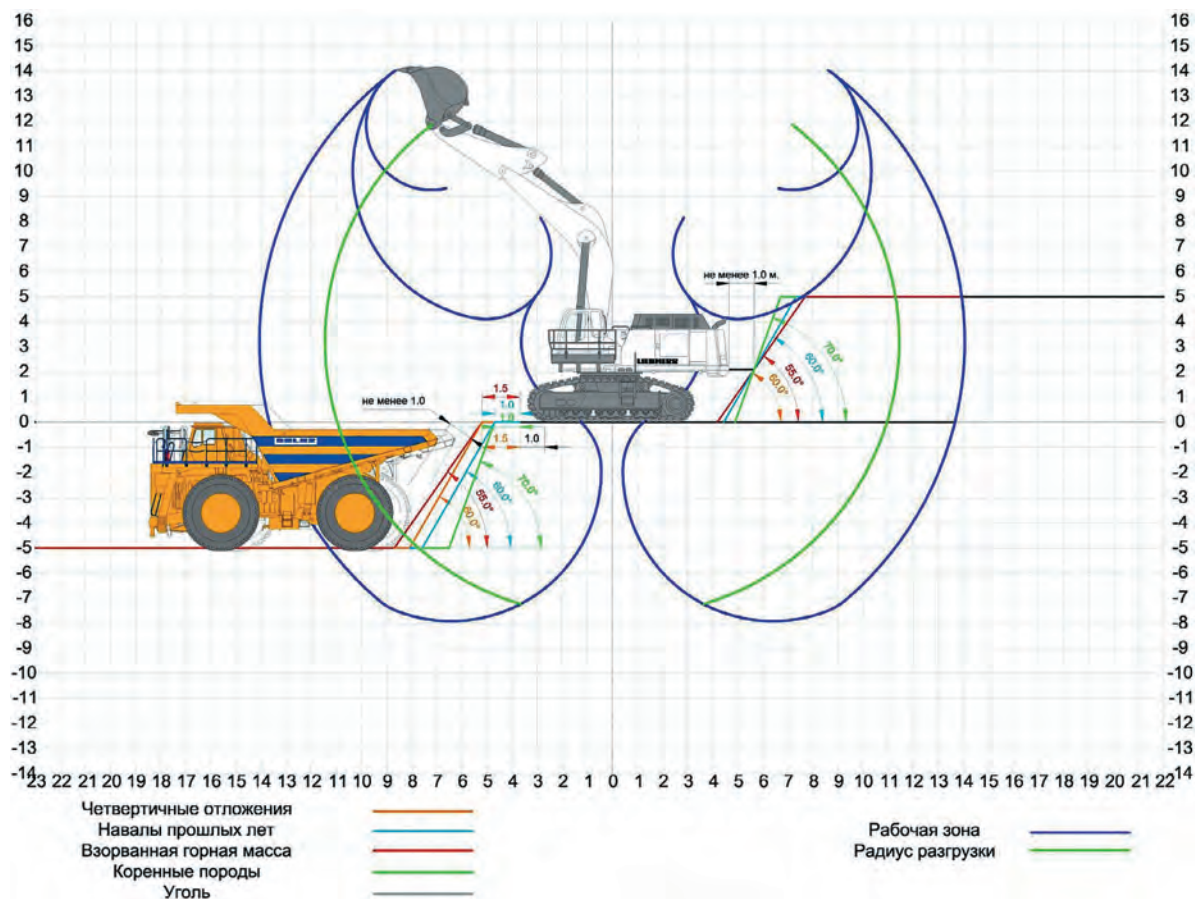
Из вышеприведенного рисунка видно, что у экскаватора Liebherr R984C при угле откоса забоя, равном  $37^\circ$ , фактическая глубина отработки не превысит 6,3 м.

Поэтому при проектировании должна учитываться не только рабочая зона экскаватора, но и радиус разгрузки, который обеспечит безопасную разгрузку в используемое транспортное средство (рис. 5).

Анализ рис. 5 показывает, что максимальная фактическая глубина черпания принимается равной либо кратному отношению высоты уступа к числу слоёв [10–12], либо высоте применяемого автосамосвала. Например, в данном случае уступ высотой 10 м поделен на равные слои 5-метровой высоты.

Однако следует принимать во внимание особенности конструкции обратных гидролопат. Чаще всего конкретная модель экскаватора снабжена сменным рабочим оборудованием: ковшом и рукоятью. На рис. 5, например, показан диапазон работы экскаватора с длиной рукояти 3,40 м; однако фирма-производитель предлагала две рукояти [13]: базовую длиной 3,40 м и сменную длиной 4,50 м (рис. 6).

Из рис. 6 следует, что при применении более длинной рукояти высота отработываемого слоя потенциально может быть увеличена до 6 м, что позволит отработывать двумя слоями уступы 12-метровой высоты.



**Рис. 5**  
Схема работы обратной гидролопаты, учитывающая параметры автотранспорта и вид разрабатываемой горной массы

**Fig. 5**  
Schematic representation of the backhoe operation, with account for the parameters of motor transport and type of excavated rocks

Но надо учитывать насыпную плотность обрабатываемых горных пород. В частности, для вышеприведенной модели экскаватора<sup>1</sup> могут быть следующие варианты (табл. 2).

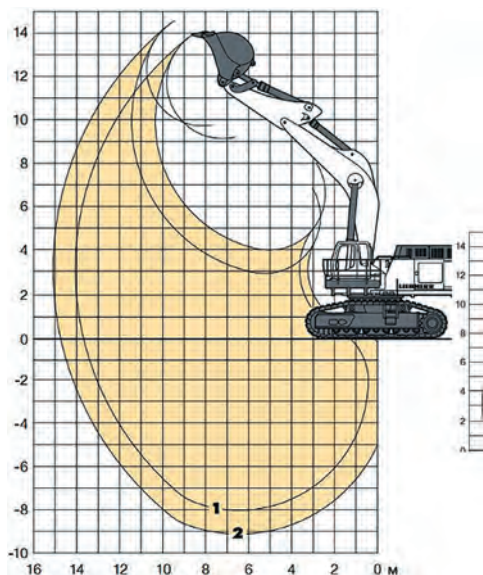
**Таблица 2**  
Связь объемов ковша экскаватора, типа и плотности обрабатываемых горных пород

**Table 2**  
Relationship of the backhoe bucket capacity, type and density of mined rocks

Основное назначение (тип) ковша по VOB, раздел С, DIN 18300*	GP		HD		XHD				
	GP	HD	GP	HD	GP	HD			
Объем ковша по ISO 7451, м <sup>3</sup>	8,0	7,3	6,7	7,7	7,0	6,4	6,7	6,2	5,8
Максимальная насыпная плотность** материала									
с рукоятью 3,40 м, т/м <sup>3</sup>	1,60	1,80	2,00	1,60	1,80	2,00	1,60	1,80	2,00
с рукоятью 4,50 м, т/м <sup>3</sup>	–	1,50	1,65	–	1,50	1,65	–	1,50	1,65
Ширина резания ковша, м	2,60	2,40	2,25	2,60	2,40	2,25	2,60	2,50	2,50
Масса** ковша, т	7,20	6,80	6,60	7,70	7,50	7,20	9,30	9,00	8,20

\* GP – ковш общего назначения с зубьями Liebherr Z90; HD – усиленный ковш с зубьями Liebherr Z100; XHD – особо усиленный ковш для скальной породы с зубьями Liebherr Z100

\*\* в оригинале – «насыпной вес материала» и «вес ковша», что несколько некорректно.



**Рис. 6**  
Диапазоны работы экскаватора Liebherr R984C с рукоятью длиной 3,40 м (траектория 1) и 4,50 м (траектория 2)

**Fig. 6**  
Operating ranges of Liebherr R984C backhoe with 3.40 m arm length (trajectory 1) and 4.50 m (trajectory 2)

<sup>1</sup> Mining Excavator R984. Liebherr-Mining Equipment Colmar SAS. Available at: www.liebherr.com

Принимая во внимание, что плотность породы целике и насыпная плотность породы связаны между собой коэффициентом разрыхления  $K_p$ , который при ведении буровзрывных работ обычно равен 1,35–1,4, таблицу 2 при  $K_p = 1,4$  можно представить в следующем виде:

Максимальная плотность породы в целике									
с рукоятью 3,40 м, т/м <sup>3</sup>	2,24	2,52	2,80	2,24	2,52	2,80	2,24	2,52	2,80
с рукоятью 4,50 м, т/м <sup>3</sup>	–	2,1	2,31	–	2,1	2,31	–	2,1	2,31
Объем ковша по ISO 7451, м <sup>3</sup>	8,0	7,3	6,7	7,7	7,0	6,4	6,7	6,2	5,8

С учетом того, что на открытых горных работах фирмой-производителем рекомендовано использовать особо усиленные ковши (XHD), можно сделать вывод о том, что рукоять длиной 4,50 м неприменима для ведения вскрышных работ вследствие того, что практически повсеместно в Кузбассе плотность породы в целике (табл. 3) имеет несколько большие значения, нежели рекомендованные производителями.

**Таблица 3**  
Плотность в целике коренных пород Северо-Талдинского месторождения

Литотип породы	Плотность (min, max и средние значения), т/м <sup>3</sup>
Песчаник	(2,32–2,92) / 2,61
Алевролит крупнозернистый	(2,43–2,71) / 2,59
Алевролит мелкозернистый	(2,21–2,66) / 2,60
Минерализованные породы	(2,71–3,11) / 2,84

Поэтому требуется учитывать не только вместимость ковша для расчета производительности экскаватора, но и параметры рукояти для определения параметров экскаваторного забоя и проектирования технологических схем.

Следует также отметить, что все вышеперечисленные

выкладки и расчеты справедливы только для одной модели экскаватора одной фирмы-производителя. Из этого следует, что в каждом конкретном случае как параметры выемочного блока, так и возможная комбинация рукояти и ковша экскаватора, должны определяться индивидуально.

**Выводы**

Выполнена систематизация технологических режимов гидравлических экскаваторов типа обратная лопата, предложено обоснование параметров выемочного блока в зависимости от условий ведения горных работ и параметров рабочего оборудования гидролопат.

Полученные аналитические зависимости позволяют прогнозировать максимальную рабочую глубину копания обратных гидролопат исходя из вместимости ковша и угла откоса рабочего уступа. Установлено, что указанные зависимости могут быть прямыми (для ковшей вместимостью до 20 м<sup>3</sup>), либо квадратичными (для ковшей вместимостью свыше 20 м<sup>3</sup>).

Выявлено, что техническая максимальная глубина черпания обратной гидролопаты, определяемая фирмой-производителем, заметно превышает фактическую (рабочую) максимальную глубину черпания, при которой возможна полная выемка объема забойного блока, осуществляемая без потерь или дополнительных технологических операций, например, таких как бульдозерная зачистка нижней площадки уступа. Зачастую такое превышение достигает 50% от величины, максимально возможной по техническим параметрам глубины черпания обратной гидролопаты, составляя в среднем 20–30%.

При увеличении ширины забойного блока Вбл уменьшается число передвижек экскаватора и высота вынимаемого слоя, увеличивается время передвижек. При уменьшении Вбл увеличивается число передвижек экскаватора и высота вынимаемого слоя, но при этом уменьшается время передвижек.

Применение сменного оборудования не всегда целесообразно по горно-геологическим условиям, в частности, из-за неприемлемо высокой плотности вскрышных пород в целике.

**Список литературы**

1. Анистратов К.Ю. Карьерные экскаваторы – гидравлика или канат? *Уголь*. 2010;(6):31–35.
2. Ključnikov A., Civelek M., Krajčík V., Ondrejmišková I. Innovative Regional Development of the Structurally Disadvantaged Industrial Region by the Means of the Local Currency. *Acta Montanistica Slovaca*. 2020;25(2):224–235. <https://doi.org/10.46544/AMS.v25i2.9>
3. Кантович Л.И., Хорешок А.А., Тюленев М.А., Кузиев Д.А. Применение механических и гидравлических экскаваторов при отработке безугольных зон на разрезах Кузбасса. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2017;(S1):296–306.
4. Анистратов К.Ю. Мировые тенденции развития структуры парка карьерной техники. *Горная промышленность*. 2011;(6):22–26. Режим доступа: <https://mining-media.ru/ru/article/karertekh/400-mirovye-tendentsii-razvitiya-struktury-parka-karernoj-tehniki>
5. Özdoğan M., Özdoğan H. Cycle time segments of electric rope shovels – a case study. *Scientific Mining Journal*. 2019;58(1):73–79. <https://doi.org/10.30797/madencilik.537648>
6. Кацубин А.В., Макридин Е.В. Систематизация технологических схем экскаваторных забоев на разрезах центрального Кузбасса. *Техника и технология горного дела*. 2018;(1):81–88. <https://doi.org/10.26730/2618-7434-2018-1-81-88>
7. Стрельников А.В. Типовые паспорта забоев для разработки угленасыщенных зон карьерных полей разрезов Кузбасса обратными гидравлическими лопатами. Ч. 1. Общие положения. *Техника и технология горного дела*. 2019;(3):4–20. <https://doi.org/10.26730/2618-7434-2019-3-4-20>
8. Стрельников А.В. Типовые паспорта забоев для разработки угленасыщенных зон карьерных полей разрезов Кузбасса обратными гидравлическими лопатами. Ч. 2. Паспорта экскаваторных забоев. *Техника и технология горного дела*. 2019;(4):4–29. <https://doi.org/10.26730/2618-7434-2019-4-4-29>
9. Strelnikov A., Markov S., Rattmann L., Weber D. Theoretical features of rope shovels and hydraulic backhoes using at open pit mines. *E3S Web of Conferences*. 2018;41:01003. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20184101003>
10. Hai-zuo Zh., Gang Zh., Xiao-pei H., En-yu W., Zhi-yi G., Dong-qing N., Shao-kun M. Numerical modelling of retaining structure

- displacements in multi-bench retained excavations. *Acta Geotechnica*. 2020;15(9):2691–2703. <https://doi.org/10.1007/s11440-020-00947-3>
11. Conigliaro R.A., Kerzhner A.A., Paredis C.J.J. Model-based optimization of a hydraulic backhoe using multi-attribute utility theory. *SAE International Journal of Materials and Manufacturing*. 2009;2(1):0565. <https://doi.org/10.4271/2009-01-0565>
12. Zhang J.-R., Wang A.-L., Song S.-T., Cui D.-M. An analysis of trajectory in hydraulic backhoe excavators. *Journal of North University of China (Natural Science Edition)*. 2011;32(2):149–153. (In Chinese) <https://doi.org/10.3969/j.issn.1673-3193.2011.02.007>

## References

- Anistratov K.Yu. Mining shovels: hydraulics or cable? *Ugol*. 2010;(6):31–35. (In Russ.)
- Ključnikov A., Civelek M., Krajčík V., Ondrejmišková I. Innovative Regional Development of the Structurally Disadvantaged Industrial Region by the Means of the Local Currency. *Acta Montanistica Slovaca*. 2020;25(2):224–235. <https://doi.org/10.46544/AMS.v25i2.9>
- Kantovich L.I., Khoreshok A.A., Tyulenev M.A., Kuziev D.A. The use of mechanical and hydraulic excavators in mining are coal areas on cuts of Kuzbass. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2017;(S1):296–306. (In Russ.)
- Anistratov K.Yu. World trends of the surface mining machinery fleet development. *Gornaya promyshlennost = Russian Mining Industry*. 2011;(6):22–26. (In Russ.) Available at: <https://mining-media.ru/ru/article/karertekh/400-mirovye-tendentsii-razvitiya-struktury-parka-karernoj-tehniki>
- Özdoğan M., Özdoğan H. Cycle time segments of electric rope shovels – a case study. *Scientific Mining Journal*. 2019;58(1):73–79. <https://doi.org/10.30797/madencilik.537648>
- Katsubin A.V., Makridin E.V. Systematization of the technological schemes of excavator faces at the central Kuzbass open pit mines. *Journal of Mining and Geotechnical Engineering*. 2018;(1):81–88. (In Russ.) <https://doi.org/10.26730/2618-7434-2018-1-81-88>
- Strelnikov A.V. Typical faces passports for the development of coal-bearing zones of Kuzbass quarry fields with backhoes. Part 1. General provisions. *Journal of Mining and Geotechnical Engineering*. 2019;(3):4–20. <https://doi.org/10.26730/2618-7434-2019-3-4-20>
- Strelnikov A.V. Typical faces passports for the development of coal-bearing zones of Kuzbass quarry fields with backhoes. Part 2. Passports of excavators faces. *Journal of Mining and Geotechnical Engineering*. 2019;(4):4–29. <https://doi.org/10.26730/2618-7434-2019-4-4-29>
- Strelnikov A., Markov S., Rattmann L., Weber D. Theoretical features of rope shovels and hydraulic backhoes using at open pit mines. *E3S Web of Conferences*. 2018;41:01003. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20184101003>
- Hai-zuo Zh., Gang Zh., Xiao-pei H., En-yu W., Zhi-yi G., Dong-qing N., Shao-kun M. Numerical modelling of retaining structure displacements in multi-bench retained excavations. *Acta Geotechnica*. 2020;15(9):2691–2703. <https://doi.org/10.1007/s11440-020-00947-3>
- Conigliaro R.A., Kerzhner A.A., Paredis C.J.J. Model-based optimization of a hydraulic backhoe using multi-attribute utility theory. *SAE International Journal of Materials and Manufacturing*. 2009;2(1):0565. <https://doi.org/10.4271/2009-01-0565>
- Zhang J.-R., Wang A.-L., Song S.-T., Cui D.-M. An analysis of trajectory in hydraulic backhoe excavators. *Journal of North University of China (Natural Science Edition)*. 2011;32(2):149–153. (In Chinese) <https://doi.org/10.3969/j.issn.1673-3193.2011.02.007>

### Информация об авторах

**Литвин Олег Иванович** – кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник кафедры открытых горных работ, Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, г. Кемерово, Российская Федерация

**Литвин Ярослав Олегович** – кандидат технических наук, генеральный директор филиала АО УК «Кузбассразрезуголь» «Моховский угольный разрез», г. Кемерово, Российская Федерация

**Тюленев Максим Анатольевич** – кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры открытых горных работ, Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, г. Кемерово, Российская Федерация; Технический университет Кошице, г. Кошице, Республика Словакия; e-mail: tma.geolog@kuzstu.ru

**Марков Сергей Олегович** – кандидат технических наук, доцент кафедры маркшейдерского дела и геологии, Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, г. Кемерово, Российская Федерация; Филиал Кузбасского государственного технического университета им. Т.Ф. Горбачева в г. Междуреченске, г. Междуреченск, Российская Федерация

### Информация о статье

Поступила в редакцию: 20.10.2021

Поступила после рецензирования: 22.11.2021

Принята к публикации: 23.11.2021

### Information about the authors

**Oleg I. Litvin** – Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor, Senior Researcher, Department of Open Pit Mining, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Kemerovo, Russian Federation

**Yaroslav O. Litvin** – Cand. Sci. (Eng.), Branch General Manager, UK Kuzbassrazrezugol JSC, Kemerovo, Russian Federation

**Maxim A. Tyulenev** – Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor, Department of Open Pit Mining, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Kemerovo, Russian Federation; Technical University of Kosice, Slovak Republic; e-mail: tma.geolog@kuzstu.ru

**Sergei O. Markov** – Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor, Department of Mine Surveying and Geology, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Kemerovo, Russian Federation; Mezhdurechensk Branch of the T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Mezhdurechensk, Russian Federation

### Article info

Received: 20.10.2021

Revised: 22.11.2021

Accepted: 23.11.2021