

**ВЛИЯНИЕ ГРАНСОСТАВА ЗАБОЯ
НА КОЛИЧЕСТВО ОТКАЗОВ МЕХАНИЗМА НАПОРА
ЭКСКАВАТОРА ЦИКЛИЧНОГО ДЕЙСТВИЯ**

Саитов В.И.¹, Андреева Л.И.², Красникова Т.И.²

¹ ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет», Екатеринбург, Россия (620144, ГСП, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30), e-mail tit.ural@mail.ru,

² ОАО НПОЦ-НИИОГР «Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт по добыче полезных ископаемых открытым способом», Челябинск, Россия (454080, г. Челябинск, пр. Ленина, 83), e-mail tehnorem74@list.ru.

В работе рассматривается влияние гранулометрического состава взорванной скальной породы в забое на нагруженность напорного механизма экскаватора. За критерий качества подготовки забоя принято соотношение объема грунта V_{zp} , с которым взаимодействует ковш экскаватора, с минимальным объемом пробы V_{min} , который отражает гранулометрический состав забоя. Должно выполняться неравенство $V_{zp} < V_{min}$. В этом случае забой можно рассматривать как сыпучую среду, при взаимодействии с которой будет обеспечено снижение динамических нагрузок. Получены аналитические выражения для вычисления V_{zp} и V_{min} . Численный анализ позволил установить взаимосвязь между вместимостью ковша и средним диаметром куска породы для пород с различным углом внутреннего трения. Установлены значения среднего диаметра куска породы в развале забоя, при которых возможно рассматривать забой в целом как сыпучую среду при взаимодействии с ковшом экскаватора. Для оценки влияния качества подготовки забоя на эксплуатационные показатели и техническое состояние экскаваторов на одном из горнодобывающих предприятий был проведен производственный эксперимент по определению параметров кусковатости взорванной горной массы с применением планиметрического метода определения количественного соотношения в обрабатываемом забое фракций различной крупности. Результаты анализа показали значительный разброс качества подготовки забоев в пределах одного предприятия. На основе полученных данных установлена статистическая взаимосвязь количества отказов механизма напора экскаваторов ЭКГ-8И и затрат на ремонтное обслуживание с гранулометрическим составом горной массы.

Ключевые слова: гранулометрический состав, кусковатость, сыпучая среда, забой.

**THE INFLUENCE OF WORKING FACE GRAIN-SIZE STRUCTURE ON
QUANTITY OF A CYCLIC ACTION DREDGES CROWDING GEAR REFUSALS.**

Saitov V. I.¹, Andreeva L. I.², Krasnikova T. I.²

¹ Federal State Budgetary Educational Institution of the Higher Vocational Training «Ural State Mountain University» Ekaterinburg, Russia (620144, COM, Ekaterinburg, Kuibyshev's st., 30) e-mail: tit.ural@mail.ru,

² «Scientific and technical center of the coal industry on open mountain workings out, research and design institute on mining operations by open way» Chelyabinsk, Russia (454080, Chelyabinsk, Lenin's pr., 83) e-mail: tehnorem74@list.ru.

In work the influence of blown up rocky soil grain-size structure in working face on crowding gear loading is considered. The parity of soil volume V_{zp} with which the dredge ladle and the minimum volume of test V_{min} which reflects working face grain-size structure is accepted for criterion of working face preparation quality. The inequality $V_{zp} < V_{min}$ should be carried out. In this case the working face can be considered as the loose environment, at interaction with which decrease in loadings will be provided. Analytical expressions for V_{zp} and V_{min} calculation are received. The numerical analysis has allowed to establish interrelation between

ladle capacity, and average diameter of a piece of soil at various corner of an internal friction. Values of average diameter of a soil pieces in working face are established at which probably to consider a face as the loose environment. For an estimation of working face preparation quality influence on operational indicators and a technical condition of dredges an industrial experiment on one of the mining enterprises has been made. The blown up mountain soil lumpiness parameters have been defined with application of planimetric method of a quantitative parity of various coarseness fractions estimation in a fulfilled file. The analysis results have shown considerable disorder of working face preparation quality within one enterprise. On the received data basis the statistical interrelation of quantity of dredge ЭКГ-8И crowding gear refusals and expenses for repair maintenance with mountain soil grain-size structure is established.

Key words: grain-size structure, lumpiness, loose environment, working face.

На карьерах и разрезах России и стран СНГ парк карьерных экскаваторов с вместимостью ковша от 5 до 50 м³ насчитывает порядка 7000 ед., а общий объем экскавируемой горной массы на российских предприятиях с открытым способом добычи полезных ископаемых превышает 2,0 млрд тонн в год.

Несмотря на значительные финансовые вложения горнодобывающих предприятий (ГДП) в поддержание работоспособного состояния имеющейся техники и в обновление экскаваторного парка, продолжительность непроизводительной работы экскаваторов составляет 30–45% от годового календарного фонда времени. Помимо этого, система эксплуатации экскаваторов циклического действия характеризуется тем, что на 1 ч производительной работы экскаваторов приходится 1,5–2,0 ч простоев в ремонтах различного рода [1].

Качество подготовки забоя: грансостав взорванного массива, содержание негабаритных кусков в отдельных случаях достигает 45%; значительно снижают ресурс узлов и агрегатов экскаватора [6]. Возникающий сложный динамический характер нагружения в этом случае обуславливает значительные напряжения в элементах механизмов и конструкций карьерных механических лопат. Это приводит к увеличению количества отказов и, как следствие, к увеличению продолжительности, трудоемкости и стоимости неплановых ремонтов. Отмеченные обстоятельства обуславливают актуальность разрешения этой проблемы. В настоящее время расчет усилий копания на рабочем органе экскаватора можно вести по методу Н.Г. Домбровского [5], основанному на известной эмпирической формуле. Этот метод используется при экскавации любых горных пород, т.к. в технической литературе можно найти значения удельного коэффициента копания для широкого круга условий [3; 5]. В тоже время проф. Ветровым Ю.А. [4] был предложен другой метод расчета сопротивления копанию рабочим органом экскаваторов при экскавации пород, не требующих подготовки взрывом. Этот метод расчета основывается на строгой математической основе статики сыпучих сред. Так как взорванные скальные породы также можно отнести к сыпучей среде, то определенный интерес представляет при каких условиях можно использовать метод Ветрова Ю.А. для анализа процесса экскавации

взорванных скальных пород. Очевидно, это возможно при определенном соотношении гранулометрического состава породы забоя и геометрических параметров ковша экскаватора.

Для одной и той же горной породы в случае различного качества подготовки забоя основные параметры, характеризующие ее как сыпучую среду, будут также различны, и, наоборот, при одинаковом качестве подготовки забоя можно считать, что свойства их будут идентичными. С исполнительным органом машины – ковшом взаимодействует сравнительно небольшой объем породы V_{ep} . Величина этого объема ограничена размерами ковша и толщиной снимаемого слоя h_{cm} (рис. 1). Усилие копания в каждом конкретном случае будет определяться свойствами породы, заключенной в этом объеме.

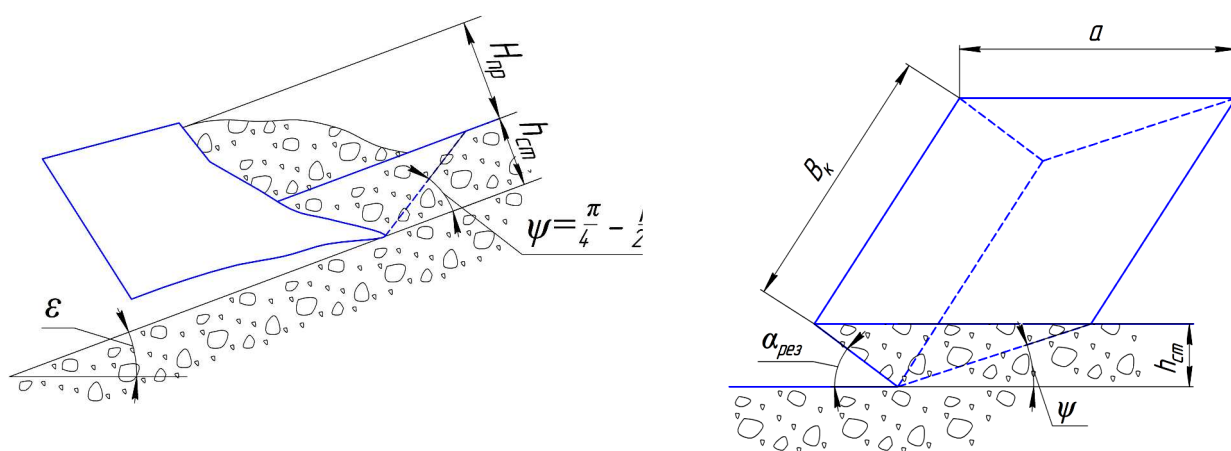


Рис. 1. Взаимодействие ковша экскаватора ЭКГ-10 с горной массой.

В результате этого можно допустить, что если порода в объеме V_{ep} по грансоставу будет такой же, как и в основном забое, то параметры грунта в нем, определяющие его как сыпучую среду, будут такими же, как и во всем развале. В этом случае анализ, основанный на положениях статики сыпучих тел, будет достаточно верно отражать средние условия, характерные для данного забоя.

Очевидно, что чем меньше величина рассматриваемого объема, тем меньше вероятность того, что грансостав заключенной в нем породы будет таким же, как в основном забое. Таким образом, задача сводится к определению минимального объема породы, который с определенной степенью надежности (P) полностью отражает грансостав основного забоя.

При выполнении неравенства $V_{ep} \geq V_{min}$ объем V_{ep} будет достаточно полно отражать все основные свойства данного забоя, и при этом условии для анализа процесса копания скальных пород экскаватором возможно применение положений статики сыпучих сред.

V_{\min} – минимальный объем породы, который полностью отражает гранулометрический состав разрабатываемого забоя.

Из известной в теории вероятностей теоремы Лапласа число объемных единиц, которое достаточно полно представляет генеральную совокупность, можно определить по формуле:

$$n = \frac{\gamma(1-\gamma)t^2}{\Delta^2}, \quad (1)$$

где γ – объемная доля расчетной фракции;

t – параметр вероятности, определяющий требуемую надежность результата;

Δ – абсолютная точность.

После преобразования приведенного выражения в работе [7] получен объем необходимой пробы в зависимости от диаметра среднего куска и выхода расчетной фракции:

$$V_{\min} = 10d_{cp}^3 \frac{t^2}{m^2} \left(\frac{1}{\gamma} - 1 \right), \quad (2)$$

где d_{cp} – средний диаметр, м;

m – относительная точность требуемого результата, %.

Объем грунта, находящегося во взаимодействии с ковшом экскаватора, определяется из следующего выражения:

$$V_{cp} = B_k \frac{h_{cm}^2}{2} \left(ctg \alpha_{рез} + ctg \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\rho}{2} \right) \right), \quad (3)$$

где B_k – ширина ковша, м;

h_{cm} – высота стружки, м;

$\alpha_{рез}$ – угол резания, град.;

ρ – угол внутреннего трения, град.

Толщина стружки определяется по известной формуле:

$$h_{cm} = \frac{E(1 + E_{np})}{L_{кон} B_k k_{кр}}, \quad (4)$$

где E – объем ковша, м³;

E_{np} – объем грунта в призме волочения в долях от объема ковша;

$L_{кон}$ – длина копания, м;

$k_{кр}$ – коэффициент разрыхления породы.

Как указывается в работе [7], в том случае, когда определяется минимальный объем пробы с целью получения более полной гранулометрической характеристики генеральной совокупности, а не только определения выхода какой-то одной фракции, в качестве расчетной фракции следует принимать ту, доля которой наименьшая.

Выход расчетной фракции составляет 5%, т.е. $\gamma = 0,05$.

Расчет V_{\min} проводился последовательно для различных величин d_{cp} от 0,05 до 0,5 м.

Расчет V_{cp} производился для ковша объемом 10 м^3 для грунтов с различными значениями угла внутреннего трения $\rho = 45^\circ = 0,79 \text{ рад.}$, $\rho = 35^\circ = 0,61 \text{ рад.}$, $\rho = 25^\circ = 0,44 \text{ рад.}$

Для установления количественных соотношений между величинами V_{cp} и V_{\min} проведен численный анализ выражений (2), (3), (4).

Расчет величины V_{\min} произведен согласно (2). Надежность $P = 99,7\%$, которой соответствует показатель вероятности $t = 3$, точность расчетов 5%. Результаты расчетов приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты расчетов диаметра куска горной массы и минимального объема породы

$d_{cp}, \text{ м}$	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50
$V_{\min}, \text{ м}^3$	0,0086	0,0684	0,2309	0,5472	1,0688	1,8468	2,9327	4,3776	6,2330	8,550

Объем горной массы в призме волочения принимается равным 0,75 от объема ковша. Длина копания составляет 10,58 м. Ширина ковша 2,4 м. Коэффициент разрыхления породы 1,2. Согласно (4): $h_{cm} = 0,57 \text{ м}$.

При различных углах внутреннего трения согласно (3): V_{cp} составляет $1,15 \text{ м}^3$, $1,29 \text{ м}^3$, $1,48 \text{ м}^3$ для углов трения соответственно 25° , 35° , 45° .

По данным таблицы построена функциональная зависимость $V_{\min} = f(d_{\text{н\ddot{o}}})$. Решение неравенства $V_{\min} = f(d_{cp}) \leq V_{cp}$ область значений среднего диаметра при каждом значении

$$V_{cp}: d_{cp} \leq 0,259 \text{ м}, d_{cp} \leq 0,267 \text{ м}, d_{cp} \leq 0,278 \text{ м}.$$

Ввиду того, что в процессе извлечения породы ρ постоянно изменяется, то неравенство $V_{cp} \geq V_{\min}$ выполняется при $d_{cp} \leq 0,259 \text{ м}$.

Таким образом, для анализа процесса копания скальных пород экскаватором с емкостью ковша 10 м^3 возможно применение положений статики сыпучих сред, так как при $d_{cp} \leq 0,259 \text{ м}$ объем V_{cp} достаточно полно отражает все свойства данного забоя.

В этих условиях с высокой степенью надежности можно утверждать, что нагрузки, воспринимаемые исполнительным органом и передающиеся на рабочее оборудование, будут более стабильными с меньшим коэффициентом динамики.

Для оценки влияния качества подготовки забоя на эксплуатационные показатели и техническое состояние экскаваторов на одном из горнодобывающих предприятий был проведен производственный эксперимент по определению параметров кусковатости взорванной горной массы с применением планиметрического метода определения количественного соотношения в отработываемом массиве фракций различной крупности [2]. В ходе эксперимента произведено 54 замера по 18 единицам экскаваторов. Фотопланограммы каждого забоя были сделаны по трем направлениям с промежутком 45° относительно продольной линии стояния экскаватора в забое.

При оценке параметров кусковатости принималось отождествление диаметра куска с его средним размером, т.е. с шириной. Для определения диаметра куска на фотопланограммы была нанесена масштабная сетка (параметры каждой клетки соответствуют $100 \times 100 \text{ мм}$). Пример обработанной фотопланограммы приведен на рис. 3.



Рис. 3. Пример фотопланограммы забоя экскаватора ЭКГ-12,5.

Горная масса в забое разделялась на следующие фракции:

- некондиционная – диаметр куска больше допустимого средневзвешенного;

- допустимая – диаметр куска соответствует допустимому средневзвешенному;
- мелкая – диаметр куска менее допустимого средневзвешенного.

Выход отдельных фракций крупности определялся по отношению суммарной площади кусков каждой фракции к площади фотопланограммы. При подсчете площади, занятой мелкими фракциями, учитывалась общая площадь промежутков между средними и крупными кусками. Затем был определен процент выхода каждой фракции (диаметра) для каждого забоя. Результаты эксперимента представлены в табл. 2.

Таблица 2 – Гранулометрический состав (кусковатость) горной массы в забоях одного из ГДП

Карьер	Кол-во замеров, ед.	Марки экскаваторов	Допустимый диаметр средневзвешенного куска, мм	Доля фракции, %		
				Мелкая	Допустимая	Некондиционная
К-р 1	15	ЭКГ-6,3У ЭКГ-8И	250-300	32	34	35
				22	13	65
				50	32	18
				33	22	45
				31	25	44
К-р 2	18	ЭКГ-6,3 ЭКГ-8И	250-300	15	45	40
				19	51	30
		ЭКГ-15	400-450	42	45	13
		RH-170 (15,6м ³) Hitachi EX-3600 (21м ³) Hitachi EX-5500 (27м ³)		44	50	6
		34		63	3	
34	66	-				
К-р 3	21	ЭКГ-4,6 ЭКГ-5А	150-250	43	39	18
				66	31	3
		ЭКГ-6,3 ЭКГ-8И ЭКГ-10	250-300	68	29	3
				70	25	5
				53	41	6
				54	36	10
30	65	5				

Разброс значений выхода некондиционной фракции (от 10 до 65%) характеризует качество подготовки забоя как неудовлетворительное.

Надежность функционирования экскаватора в различных условиях эксплуатации зависит от надежности его агрегатов и узлов. Статистическая обработка исходных данных аварийных остановок экскаваторов (базовых машин ЭКГ-8И, ЭКГ-10 и их модификаций ЭКГ-6,3УС, ЭКГ-8УС) позволила определить долю отказов основных механизмов

экскаваторов, эксплуатируемых в различных условиях. Наибольшее количество отказов приходится на рабочее оборудование (37%) и механизм напора (25%).

Графическая зависимость количества отказов механизма напора экскаватора ЭКГ-8И и затрат на ремонтное обслуживание от гранулометрического состава горной массы представлена на рис. 2.

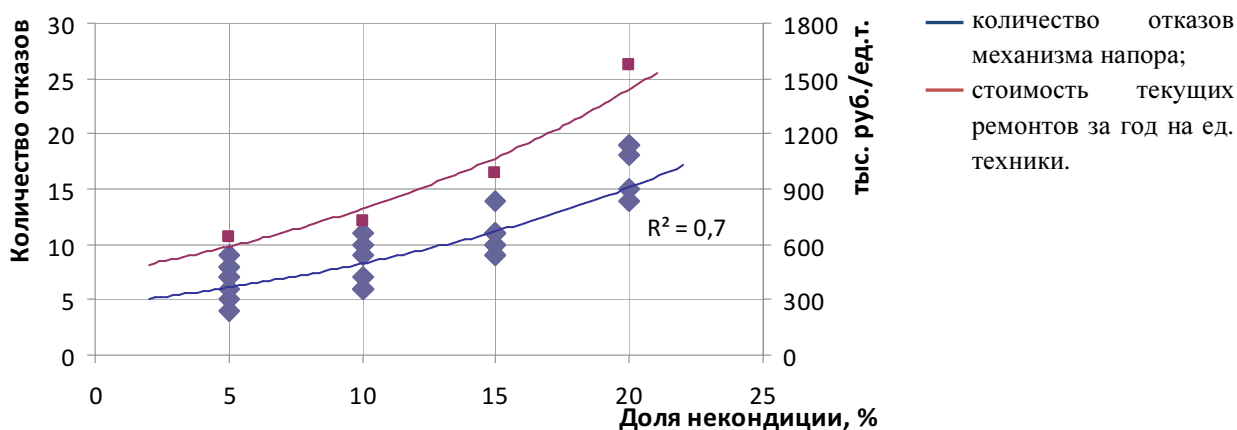


Рис. 2. Зависимость количества отказов механизма напора экскаваторов ЭКГ-8И и затрат на ремонтное обслуживание от гранулометрического состава горной массы.

Выводы

Таким образом, с использованием зависимости количества отказов и затрат на ремонт экскаваторов ЭКГ-8И от гранулометрического состава горной массы становится возможным определять рациональные параметры эксплуатации экскаваторов, при которых обеспечивается снижение нагруженности узлов до приемлемого уровня (количество отказов незначительное) и затрат на ремонтное обслуживание.

Список литературы

1. Андреева Л.И., Коростылев В.А., Хан К.О. Оценка технического состояния экскаваторов для определения целесообразности их дальнейшей эксплуатации // Горное оборудование и электромеханика. – 2011. – № 6. – С. 12–16.
2. Барон Л.И. Кусковатость и методы ее измерения. – М. : Изд-во АН СССР, 1982. – С. 121.
3. Беляков Ю.И. Выемочно-погрузочные работы на карьерах. – М. : Недра, 1987. – С. 268.
4. Ветров Ю.А. Резание грунтов землеройными машинами. – М. : Машиностроение, 1971. – С. 360.
5. Домбровский Н.Г. Экскаваторы. Общие вопросы теории, проектирования, исследования и применения. – М. : Машиностроение, 1969.

6. Касьянов П.А. Исследование влияния кусковатости взорванной горной массы на режимы нагружения подъемных механизмов карьерных экскаваторов : дис. ... канд. техн. наук. – Свердловск, 1970.

7. Краснов Д.А. Теоретические основы и расчетные формулы определения веса проб. – М. : Недра, 1969. – С. 69.

Рецензенты:

Кожушко Г.Г., д.т.н., профессор, зав. кафедрой подъемно-транспортных машин и роботов, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург.

Ляпцев С.А., д.т.н., профессор, зав. кафедрой технической механики, Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург.