

УДК 622.3, 004.942.

О ПОДХОДЕ К ОПРЕДЕЛЕНИЮ КОЭФФИЦИЕНТА РАЗРЫХЛЕНИЯ РАЗРУШЕННОЙ ВСКРЫШНОЙ ПОРОДЫ В КОВШЕ ЭКСКАВАТОРА ПРИ ЦИФРОВИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭКСКАВАТОРНО-АВТОМОБИЛЬНОГО КОМПЛЕКСА

Кузнецов И.С.,^{1,2} старший научный сотрудник, доцент

Кузнецова А.В.,² доцент

¹ ФИЦ УУХ СО РАН

² КузГТУ им. Т.Ф. Горбачёва

г. Кемерово

Производство подготовленных вскрышных пород на разрезах в основном осуществляется с использованием экскаваторно-автомобильных комплексов (ЭАК). Одним из основных технологических процессов при эксплуатации ЭАК является – погрузка вскрышной породы в автосамосвалы, выполняемые одноковшовым экскаватором цикличного действия.

Эффективность работы ЭАК во многом зависит от эффективности работы экскаватора с рациональными рабочими и технологическими параметрами. Одной из главных характеристик работы экскаватора, является его суточная эксплуатационная производительность, зависящая как от условий эксплуатации, параметров экскаватора так и физико-механических свойств вскрышных пород формула 1 [1,2]:

$$Q_{\text{экс}}^{\text{сут}} = \left(\left(\frac{3600 \cdot E_{\text{экс}}}{5,5 \cdot \sqrt{E_{\text{экс}}} + 0,1 \cdot \beta + \frac{2,5}{1,07 \sqrt[3]{E_{\text{экс}}}}} \cdot \frac{k_{\text{нк}}}{k_{\text{рз}}} \cdot k_{\text{т.г}} \right) \cdot T_{\text{см}} \cdot k_{\text{экс}} \right) \cdot n_{\text{см}}, \quad (1)$$

где $Q_{\text{экс}}^{\text{сут}}$ – суточная эксплуатационная производительность экскаватора, м³/сут.; $k_{\text{т.г}}$ – коэффициент влияния технологии выемки (коэффициент влияния параметров забоя) ($k_{\text{т.г}} = 0,8$ – траншейный забой, $k_{\text{т.г}} = 0,9$ – торцевой забой); $E_{\text{экс}}$ – вместимость ковша экскаватора, м³; $k_{\text{нк}}$ – коэффициент наполнения ковша экскаватора; $k_{\text{рз}}$ – средний коэффициент разрыхления вскрышной породы в ковше экскаватора; $T_{\text{см}}$ – продолжительность смены, ч; $k_{\text{экс}}$ – коэффициент использования экскаватора в течении смены; $n_{\text{см}}$ – количество смен в течении суток, шт; $d_{\text{ср}}$ – диаметр средневзвешенного по объёму куска вскрышной породы, м.

С целью учёта среднего значения коэффициента разрыхления в ковше экскаватора в зависимости от диаметра средневзвешенного по объёму куска вскрышной породы и вместимости ковша, при цифровизации процесса проектирования работы экскаватора и ЭАК в целом, произведена аппроксимация значения коэффициента разрыхления вскрышной породы в зависимости от ранее указанных параметров с использованием MS Excel, примеры результатов представлены на рисунках 1-4.

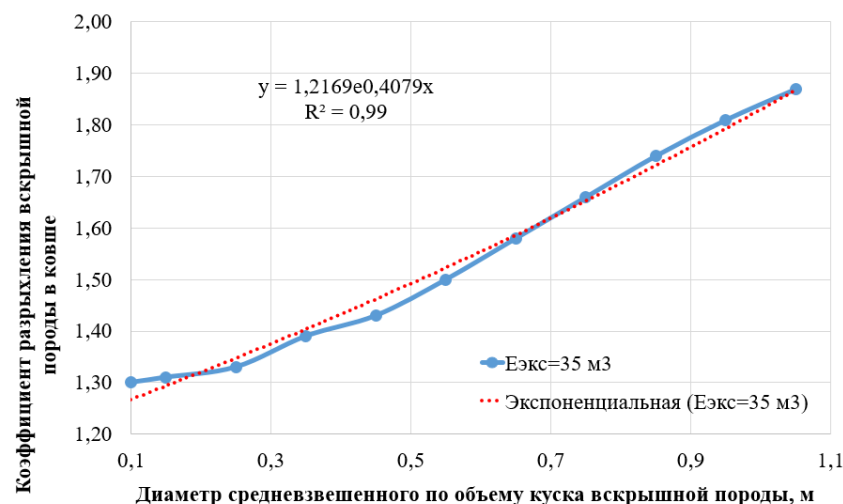


Рисунок 1 – Зависимость изменения коэффициента разрыхления вскрышной породы в ковше экскаватора при различных значениях диаметра средневзвешенного по объёму куска вскрышной породы при $E_{\text{экс}} = 35 \text{ м}^3$

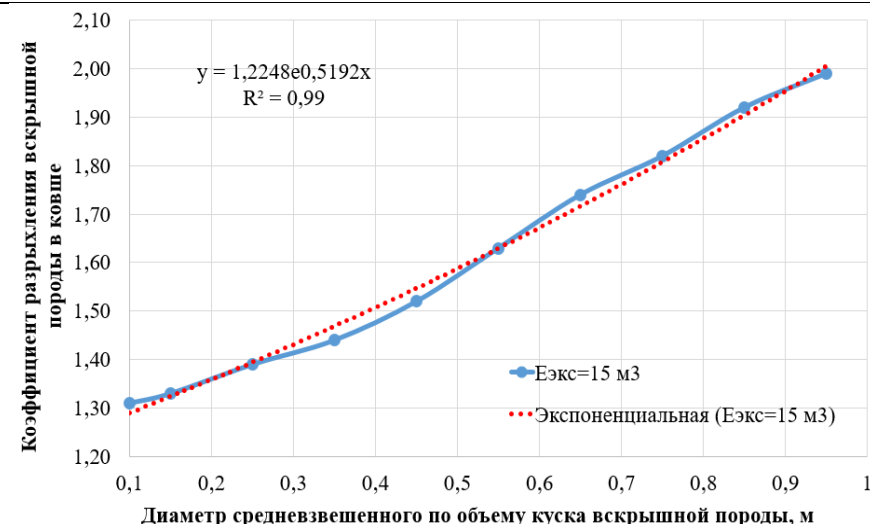


Рисунок 2 – Зависимость изменения коэффициента разрыхления вскрышной породы в ковше экскаватора при различных значениях диаметра средневзвешенного по объёму куска вскрышной породы при $E_{\text{экс}} = 15 \text{ м}^3$

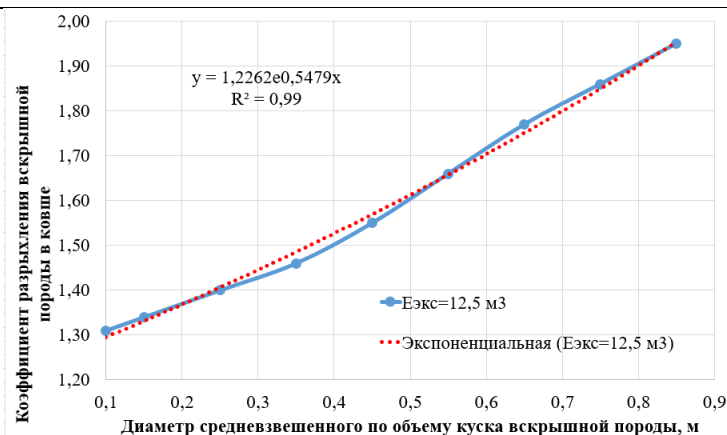


Рисунок 3 – Зависимость изменения коэффициента разрыхления вскрышной породы в ковше экскаватора при различных значениях диаметра средневзвешенного по объёму куска вскрышной породы при $E_{\text{экс}} = 12,5 \text{ м}^3$

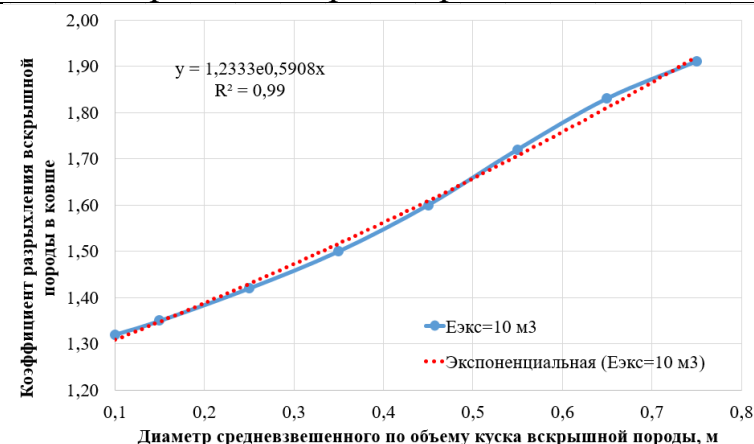


Рисунок 4 – Зависимость изменения коэффициента разрыхления вскрышной породы в ковше экскаватора при различных значениях диаметра средневзвешенного по объёму куска вскрышной породы при $E_{\text{экс}} = 10 \text{ м}^3$

В результате установлено, что изменением коэффициента разрыхления в ковше в зависимости от диаметра средневзвешенного по объёму куска вскрышной породы в развале описывается экспоненциальной зависимостью с коэффициентами детерминации R^2 на интервале от 0,96 до 0,99:

$$k_{pэ} = A \cdot \exp^{B \cdot d_{cp}}, \quad (2)$$

где $k_{pэ}$ - коэффициент разрыхления вскрышной породы в ковше; А, В - константы; d_{cp} - диаметр средневзвешенного по объёму куска вскрышной породы в развале, м; R^2 - коэффициент детерминации.

Значения констант А и В в зависимости от вместимости ковша экскаватора, определялись аналогичным образом, рисунки 5 и 6.

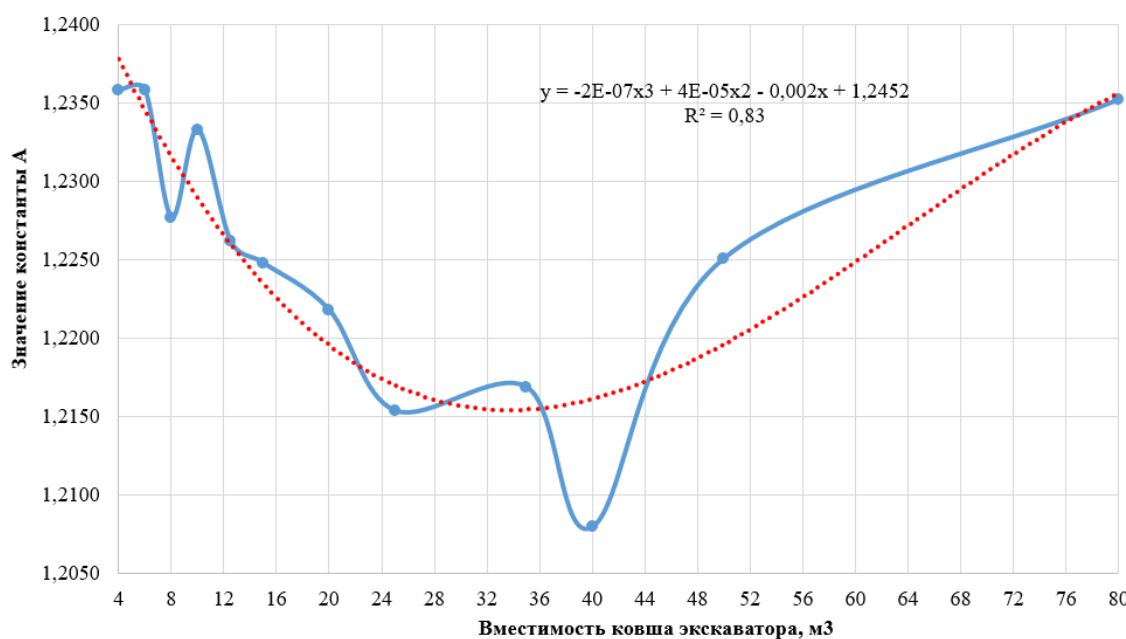


Рисунок 5 – Зависимость константы А при различном значении вместимости ковша экскаватора

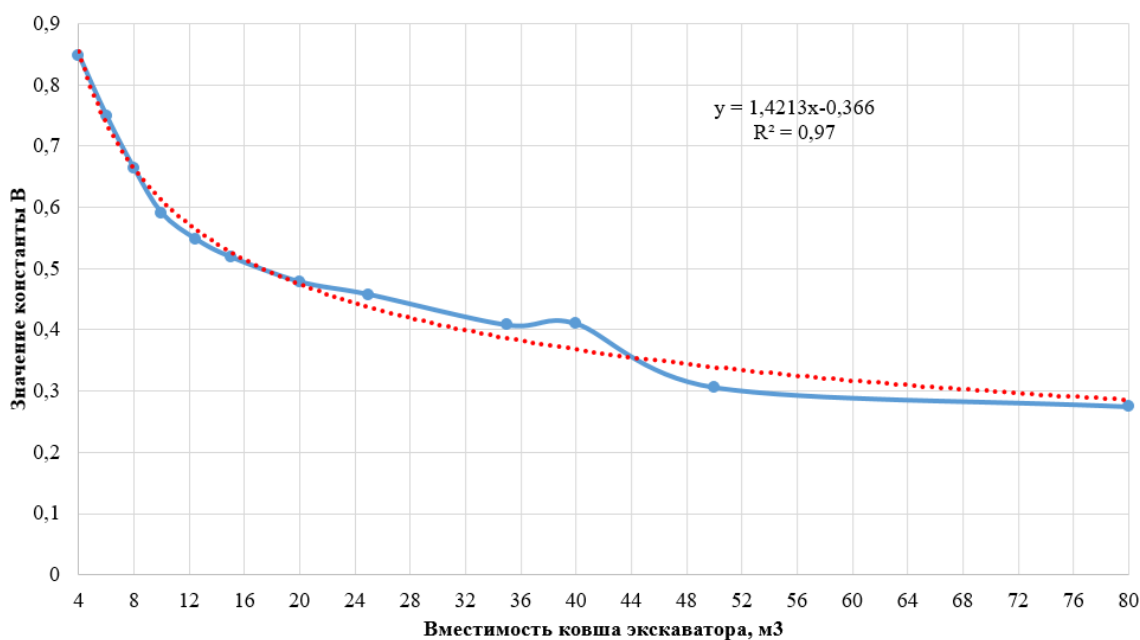


Рисунок 6 – Зависимость константы В при различном
значении вместимости ковша экскаватора

В результате установлено, что константы А и В описываются полиномом третьей степени и степенной функцией с коэффициентами детерминации $R^2 = 0,83$ и $R^2 = 0,97$ соответственно:

$$A = -0,00000002 \cdot E_{\text{экс}}^3 + 0,000004 \cdot E_{\text{экс}}^2 - 0,002 \cdot E_{\text{экс}} + 1,2452, \quad (3)$$

$$B = 1,4213 \cdot E_{\text{экс}}^{-0,366}, \quad (4)$$

где $E_{\text{экс}}$ - вместимость ковша экскаватора, м³.

Оценка адекватности результата аппроксимации проводилась путём сравнения фактических данных полученные из источника [3] и данных полученные с помощью полученных уравнений. Расхождение определялось по следующей формуле и условию [4]:

$$\Delta_i = \frac{k_{p\phi}^{\phi} - k_{p\phi}^p}{k_{p\phi}^{\phi}} \cdot 100\%, \quad (5)$$

$$\Delta_{\text{max}} \leq 10\% \quad (6)$$

где $k_{p\phi}^{\phi}$ - фактическое значение коэффициента разрыхления вскрышной породы в ковше экскаватора; $k_{p\phi}^p$ - расчётное значение коэффициента разрыхления вскрышной породы в ковше экскаватора; Δ_i - расхождение при i -ом значении диаметра средневзвешенного по объёму куса вскрышной породы в развале, %; Δ_{max} - максимальное расхождение.

Таблица 1 Сравнение результатов

$E_{\text{экс}} = 35 \text{ м}^3$			
$d_{\text{ср}}, \text{ м}$	$k_{p\phi}^{\phi}$	$k_{p\phi}^p$	$\Delta_i, \%$
0,1	1,30	1,26	2,80%
0,15	1,31	1,29	1,70%
0,25	1,33	1,34	0,70%
0,35	1,39	1,39	0,10%
0,45	1,43	1,45	1,20%
0,55	1,50	1,50	0,30%
0,65	1,58	1,56	1,10%
0,75	1,66	1,62	2,10%
0,85	1,74	1,69	2,90%
0,95	1,81	1,76	3,00%
1,05	1,87	1,82	2,40%
$E_{\text{экс}} = 25 \text{ м}^3$			
0,1	1,30	1,27	2,20%
0,15	1,32	1,30	1,50%
0,25	1,35	1,36	0,60%
0,35	1,40	1,42	1,30%
0,45	1,46	1,48	1,50%
0,55	1,54	1,55	0,50%
0,65	1,64	1,62	1,40%
0,75	1,74	1,69	2,90%

0,85	1,82	1,77	3,00%
0,95	1,89	1,84	2,40%
1,05	1,95	1,93	1,20%
$E_{\text{экс}} = 10 \text{ м}^3$			
0,1	1,32	1,31	1,00%
0,15	1,35	1,35	0,20%
0,25	1,42	1,43	0,90%
0,35	1,50	1,52	1,50%
0,45	1,60	1,62	1,20%
0,55	1,72	1,72	0,00%
0,65	1,83	1,83	0,10%
0,75	1,91	1,94	1,80%
0,85	1,32	1,31	1,00%

Аналогичные исследования были проведены для вместимостей ковшей: $E_{\text{экс}} = 80$; $E_{\text{экс}} = 50$; $E_{\text{экс}} = 40$; $E_{\text{экс}} = 20$; $E_{\text{экс}} = 15$; $E_{\text{экс}} = 12,5 \text{ м}^3$, $E_{\text{экс}} = 8 \text{ м}^3$, $E_{\text{экс}} = 6 \text{ м}^3$ и $E_{\text{экс}} = 4 \text{ м}^3$. В результате максимальное расхождение составило $\Delta_{\text{мах}} = 7,60\%$, что не превышает допустимого значения в 10%.

Таким образом, можно утверждать, что полученная математическая модель адекватна и ещё можно использовать для цифровизации процесса проектирования работы экскаватора.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1) Литвин, О.И. Основы горного дела (открытая геотехнология). Практикум : учеб. пособие / О. И. Литвин, М. А. Тюленев, А. А. Хорешок, С. О. Марков, Я. О. Литвин; – КузГТУ. – Кемерово, 2019. – 116 с.
- 2) Фурман, А.С. Оценка эффективности эксплуатации экскаваторно-автомобильных комплексов на технологических трассах разрезов Кузбасса: дис. ... канд. тех. наук: 05.05.06 / Фурман Андрей Сергеевич. – КузГТУ. – Кемерово, 2018. – 137 с.
- 3) Челпанова, Е.В. Открытые горные работы : учеб.-метод. пособие / Е.В. Челпанова, Е.В. Лукьянец. – Пермь : Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2020. – 73 с.
- 4) Зиновьев, В.В. Разработка методов динамического моделирования горно-подготовительных работ: дис. ... канд. тех. наук: 05.13.16, 05.15.02 / Зиновьев Василий Валентинович. – Институт угля и углехимии СО РАН. Кемерово, 1998. – 219 с.
- 5) Потапов, В.Д. Имитационное моделирование производственных процессов в горной промышленности / В.Д. Потапов, А.Д. Яризов. – М.: Высшая школа, 1981. – 189 с.

Благодарности: Исследование выполнено в рамках гранта (постановление Правительства Кемеровской области – Кузбасса от 19.09.2022 № 632) по прикладному научному исследованию «Разработка программно-методического обеспечения для цифровизации процессов проектирования горнотехнических систем для открытых и подземных горных работ», соглашение от 22.11.2022 г. №1.