

ГІРНИЧІ МАШИНИ ТА ОБЛАДНАННЯ

УДК 622. 232

ПОРІВНЯННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ФУНКЦІОНУВАННЯ РОТОРНИХ ЕКСКАВАТОРІВ

О.М. Терентьєв, канд. техн. наук (НТУУ «КПІ», ІЕЕ)

Проведено сравнение производственных граничных условий функционирования роторного экскаватора СРС-2000-28/3,5 при разработке забоев с модулем упругости 2,1 ГПа, определенным с точки зрения классического и молекулярно-волнового подходов.

Питання функціонування роторного экскаватора СРС-2000-28/3,5 з урахуванням розриву міжмолекулярних зв'язків руйнованого вибою ще не розглядалося у науковій літературі. Математичні моделі виробничих граничних умов (ВГУ) функціонування роторних экскаваторів як комплексних гірничих систем типу вибій–виконавчий орган–привод подані як функції висоти ядра ущільнення і об'єму елементарної стружки при руйнуванні вибою. Висота і об'єм ядра ущільнення на зубі ковша роторного экскаватора СРС-2000-28/3,5 при розробці вибоїв з модулем Юнга першого роду 2,1 ГПа розраховувалися по методиці [1].

Коефіцієнт корисної дії экскаватора при руйнуванні вибою обчислюється за формулою

$$\eta = \frac{A_c}{A_c + A_n} = \frac{A_c}{A_n} = \frac{(X_p - h_n)(V_p - V_n)}{V_p X_p} 100 [\%], \quad (1)$$

де A_n і A_c – робота, затрачена на формування ядра ущільнення і елементарної стружки при руйнуванні вибою, Дж; A_n – повна робота руйнування; X_p – лінійний розмір елемента руйнування вибою, м; h_n – висота ядра ущільнення, м; V_p – об'єм елемента, що відокремлюється від вибою за один цикл руйнування, м³; V_n – об'єм ядра ущільнення, м³.

Робота, що затрачується на формування стружки при руйнуванні вибою, виражається формулою

$$A_c = F_n (X_p - h_n) K_v = F_n (X_p - h_n) (V_p - V_n) / V_p, \quad (2)$$

де $F_n = N_n / V_n$ – зусилля на зубах ковша ротора, Н; $N_n = 466$ – потужність приводу экскаватора, кВт [2, 3]; $V_n = 0,33$ – швидкість подачі экскаватора, м/с

[4]; $K_v = (V_p - V_n) / V_p$ – коефіцієнт, що враховує утворення нових об'ємів при руйнуванні вибою;

Робота, що затрачається на формування ядра ущільнення при руйнуванні вибою, дорівнює

$$A_n = F_n h_n = 0,5 k h_n^2 \quad [\text{Дж}], \quad (3)$$

де F_n – зусилля формування ядра ущільнення при руйнуванні вибою, Н; $k = N_n / (0,5 V_n h_n)$ – коефіцієнт жорсткості ядра ущільнення, Н/м.

Продуктивність екскавації визначається за формулою

$$\Pi = \frac{K_c V_c 2 A_n n_r (n_k / 4) h_p K_v V_p 3600}{T_1 V_n}, \quad (4)$$

де $K_c = 0,6$ – коефіцієнт переведення теоретичної продуктивності в експлуатаційну; V_c і V_n – відповідно об'єм стружки і ядра ущільнення, м³; $A_k = 0,049$ – напівширина зуба на ковші екскаватора, м [2, 5]; $n_r = 9$ – кількість зубів на ковші, шт [2, 5]; $n_k = 22$ – кількість ковшів на роторному колесі екскаватора, шт [2, 5]; $h_p = 0,085$ – глибина занурення зуба у вибій, м [2, 5]; $K_v = 0,8$ – коефіцієнт наповнення ковша [2]; $V_p = 2,94$ – швидкість різання, м/с [4]; $T_1 = 30$ – тривалість циклу з урахуванням швидкості обертання ротора, с [2, 3].

Питома енергоємність руйнування обчислюється за формулою

$$q = N_n / \Pi \quad [\text{Вт} \cdot \text{с} / \text{м}^3], \quad (5)$$

де N_n – потужність приводу екскаватора, Вт.

Якість екскавації дорівнює

$$K = \Pi / B, \quad [\text{м}^3 / \text{с} \cdot \text{грн.}], \quad (6)$$

де $B = 12,55$ – вартість екскавації одного кубічного метру, грн. [8].

Для розрахунку ВГУ екскавації складено програми розрахунку і порівняння технологічних параметрів функціонування при класичному і молекулярно-хвильовому підходах. Результати розрахунку продуктивності, питомої енергоємності, ККД і якості функціонування роторного екскаватора СРС-2000-28/3,5 при керуванні швидкістю різання (класичний підхід) наведено у табл. 1. За цими результатами побудовано криві залежності висоти ядра ущільнення h_n , об'єму ядра V_n і об'єму стружки V_c від швидкості різання (класичний підхід), наведені на рис. 1.

Вибой, що руйнується роторним екскаватором СРС-2000-28/3,5, мають об'ємноцентровану кристалічну решітку. Для такого типу решіток імовірна відстань між можливими площинами спайності [7, 8] досягає $\gamma_{100} = 0,214 \cdot 10^{-9}$ м, $\gamma_{110} = 0,303 \cdot 10^{-9}$ м, $\gamma_{111} = 0,124 \cdot 10^{-9}$ м, при середньому радіусі дії міжатомних сил $a_0 = 1,85 \cdot 10^{-9}$ м, що забезпечує питому поверхневу енергію відповідно $\gamma_{100} = 0,033$ Дж/м²; $\gamma_{110} = 0,063$ Дж/м²; $\gamma_{111} = 0,0398$ Дж/м².

Таблиця 1. Результати розрахунку продуктивності, питомої енергоємності, ККД і якості екскавації екскаватора СРС-2000-28/3,5 при керуванні швидкістю різання (класичний підхід)

Швидкість різання V_p , м/с	Об'єм стружки, $V_c \cdot 10^{-5}$, м ³	Продуктивність $P \cdot 10^2$, м ³ /год	Питома енергоємність q , Вт·год/м ³	ККД, %	Якість екскавації $K \cdot 10$, м ³ /(год·грн.)
0.20	70.89	20.63	61.07	35.78	16.44
0.65	81.62	24.26	51.92	35.90	19.34
1.10	80.56	24.97	50.46	35.92	19.90
1.55	79.13	25.97	48.51	35.95	20.70
2.00	158.92	55.80	22.58	36.30	44.46
2.45	143.14	54.09	23.29	36.29	43.10
2.90	130.06	53.04	23.76	36.28	42.26

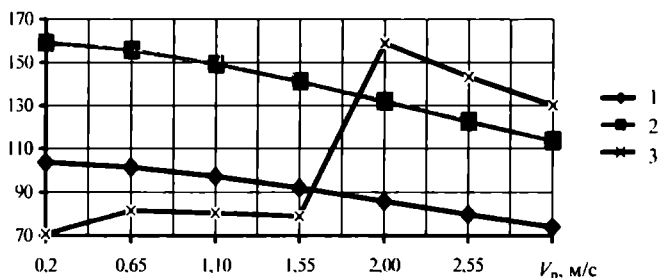


Рис. 1. Залежності висоти ядра ущільнення h_n (1), об'єму ядра V_n (2) і стружки V_c (3) від швидкості різання (класичний підхід)

Фундаментальне положення про атомну природу твердих тіл підтверджує [6, 7], що кристалічні площини твердого тіла мають максимальні модулі пружності, найбільше упакування атомів, максимальну міжплощинну відстань, мінімальну поверхневу енергію у нормальному напрямку. Оскільки щільність атомів у площині Міллера 100 найбільша, то кількість зв'язків між ними також максимальна і, отже, енергія зв'язку між сусідніми площинами буде меншою. Дослідженнями [6, 7] встановлено, що чим більша поверхнева енергія тіла, тим вища його когезійна стійкість. Це положення справедливе лише при адгезійній взаємодії однойменних матеріалів. При контакті різнойменних матеріалів, якими є матеріали руйнованих вибоїв, стійкість адгезійних зв'язків вища за когезійну стійкість більш слабкого з них і руйнування носить когезійний характер. Це дає право вважати, що для руйнування вибоїв необхідно прикладати зовнішні навантаження, достатні для руйнування когезійних зв'язків між молекулами більш слабкого компонента підсистеми "вибій". Тому розрахунок ВГУ функціонування роторного екскаватора, який враховує розрив міжмолекулярних зв'язків, виконано з використанням молекулярно-хвильового підходу за математичними моделями,

наведеними в [1]. Пропонується нова методика розрахунку, яка передбачає керування найбільш енергоємним процесом формування ядра ущільнення при руйнуванні вибою за його молекулярно-хвильовими характеристиками, питомою поверхневою енергією, сталою кристалічної решітки і радіусу дії міжмолекулярних (атомних) сил. Основні результати розрахунку ВГУ (з точки зору молекулярно-хвильового підходу) функціонування роторного екскаватора СРС-2000-28/3,5 наведено у табл. 2.

Таблиця 2. Результати розрахунку продуктивності, питомої енергоємності, ККД і якості функціонування екскаватора СРС-2000-28/3,5 при керуванні швидкістю різання (молекулярно-хвильовий підхід)

V_p , м/с	X_p , см	h_w , см	Об'єм ядра ущільнення $V_w \cdot 10^{-6}$, м ³	Об'єм стружки $V_c \cdot 10^{-5}$, м ³	Продуктивність $\Pi \cdot 10^2$, м ³ /год	Питома енергоємність q , Вт·год/м ³	ККД, %	Якість екскавації $K \cdot 10$, м ³ /(год·грн)
0.20	16.4	10.4	15.91	70.89	20.63	61.073	35.78	16.39
0.65	16.0	10.2	15.57	81.62	24.27	51.916	35.90	19.34
1.10	15.4	9.4	14.93	80.56	24.97	50.456	35.92	19.90
1.55	14.5	9.2	14.10	79.13	25.97	48.514	35.95	20.70
2.00	13.6	8.6	13.18	158.91	55.80	22.580	36.30	44.46
2.45	12.7	7.9	12.25	143.12	54.09	23.294	36.29	43.10
2.90	11.7	7.4	11.35	130.06	53.04	23.755	36.28	42.26

За даними табл. 2 побудовано криві залежності продуктивності, питомої енергоємності, ККД і якості екскавації від швидкості різання екскаватора СРС-2000-28/3,5 (молекулярно-хвильовий підхід) (рис. 2).

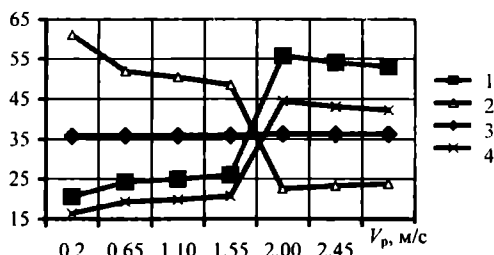


Рис. 2. Залежність продуктивності Π (1), питомої енергоємності q (2), ККД (3) і якості екскавації K (4) від швидкості різання екскаватора СРС-2000-28/3,5 (молекулярно-хвильовий підхід)

Порівняння ВГУ, розрахованих за методикою класичного і молекулярно-хвильового підходів, дало змогу оцінити розбіжність між двома методиками розрахунку ВГУ (табл. 3).

Таблиця 3. Порівняння кількісних значень ВГУ і основних параметрів роботи роторного екскаватора СРС-2000-28/3,5

V_p , м/с	Висота ядра ущільнення h_n , см			Довжина стружки X_p , см			Продуктив- ність $P \cdot 10^2$, $m^3/год$			Питома енергоєм- ність q , $Вт \cdot год/m^3$			ККД, %			Якість екса- кації $K \cdot 10$, $m^3/(год \cdot грн)$		
	кл	мх	р	кл	мх	р	кл	мх	р	кл	мх	р	кл	мх	р	кл	мх	р
0.2	0.4	0.6	2.41	16.4	17.4	6.23	20.6	21.7	5.01	61.1	58.2	5.00	35.7	35.8	0.1	16.4	17.2	4.98
0.7	0.2	0.4	2.46	16.0	17.0	6.24	24.3	25.5	5.01	51.9	49.4	5.02	35.8	35.9	0.1	19.3	20.3	5.00
1.1	9.74	9.98	2.46	15.4	16.3	6.32	24.9	26.2	5.01	50.5	48.1	5.02	35.8	35.9	0.1	19.8	20.8	5.01
1.6	9.20	9.43	2.50	14.5	15.4	6.27	25.9	27.3	5.01	48.5	46.2	5.00	35.9	35.9	0.0	2.06	21.7	5.01
2.0	8.60	8.81	2.44	13.6	14.4	6.27	55.8	58.6	5.01	22.6	21.5	5.02	36.3	36.3	0.0	44.5	46.7	5.01
2.5	8.00	8.19	2.38	12.7	13.4	5.68	54.1	56.8	5.01	23.3	22.2	5.00	36.3	36.3	0.0	43.1	45.2	5.01
2.9	7.40	7.59	2.57	11.6	12.4	6.79	53.0	55.7	5.01	23.8	22.6	5.04	36.3	36.3	0.0	42.3	44.3	4.01

Примітка. кл – класичний підхід; мх – молекулярно-хвильовий підхід; р – розбіжність, %.

Висновки

1. Пропонується нова методика розрахунку ВГУ з точки зору класичного і молекулярно-хвильового підходів, особливістю якої є керування найбільш енергоємним процесом формування ядра ущільнення при руйнуванні вибою за його молекулярно-хвильовими характеристиками: питомою поверхневою енергією, постійною кристалічної решітки і радіусу дії міжмолекулярних сил.

2. Установлено, що при зміні швидкості різання від 0,20 до 0,65 м/с висота ядра ущільнення зменшувалася з 10,38 до 10,16 см, об'єм ядра ущільнення – з $15,91 \cdot 10^{-6}$ до $15,57 \cdot 10^{-6} m^3$, об'єм стружки зростав з $70,89 \cdot 10^{-5}$ до $81,62 \cdot 10^{-5} m^3$, що забезпечувало збільшення продуктивності екскавації з 2063 до 2466 $m^3/год$, якості екскавації з 164 до 193 $m^3/(год \cdot грн)$, зниження питомої енергоємності з 61,1 до 51,9 $Вт \cdot год/m^3$ і підвищення ККД з 35,8 до 35,9 %.

3. При збільшенні швидкості різання від 0,65 до 1,55 м/с спостерігалася зменшення висоти ядра ущільнення з 10,16 до 9,19 см і об'єму ядра ущільнення з $15,57 \cdot 10^{-6}$ до $14,10 \cdot 10^{-6} m^3$, що викликало збільшення об'єму стружки з $79,13 \cdot 10^{-5}$ до $81,62 \cdot 10^{-5} m^3$, ККД екскавації – з 35,90 до 35,95 %, продуктивності з 2427 до 2597 $m^3/год$ і якості екскавації – з 193 до 207 $m^3/(год \cdot грн)$ при зниженні питомої енергоємності з 51,9 до 48,5 $Вт \cdot год/m^3$.

4. Оптимальний режим руйнування вибоїв з модулем пружності 2,1 ГПа спостерігався при швидкості різання екскаватора СРС-2000-28/3,5 від 1,55 до 2,0 м/с. Оптимальність режиму підтверджувалася зростанням продуктивності

від 2597 до 5580 м³/год, ККД – з 35,95 до 36,30 % і якості екскавації – з 207 до 445 м³/(год·грн.), що обумовлено зменшенням об'єму ядра ущільнення з 14,1·10⁻⁶ до 13,8·10⁻⁶ м³ і збільшенням об'єму стружки з 79,13·10⁻⁵ до 158,9·10⁻⁵ м³.

5.3 подальшим збільшенням швидкості різання з 2,0 до 2,9 м/с спостерігалось зниження кількісних і якісних значень ВГУ, що обумовлено зменшенням висоти ядра ущільнення з 8,6 до 7,4 см і зменшенням об'єму ядра з 13,18·10⁻⁶ до 11,35·10⁻⁶ м³.

6. Зіставлення результатів розрахунків ВГУ при класичному і молекулярно-хвильовому підходах показало, що розбіжність кількісних значень висоти ядра ущільнення, розрахованих за двома методиками, не перевищувала 2,5 %, продуктивності екскавації – 5 %, питомої енергоємності – 5 %, ККД – 0,1 %, якості екскавації – 5 %.

1. *Терентьев О.М.* Критеріальні параметри функціонування гірничих систем // Вісник НТУУ "КПІ". Серія "Гірництво". – 1999. – Вип. 1. – С. 95–107.

2. *Владимиров В.М.* Карьерные роторные экскаваторы. – М.: Недра, 1972. – 278 с.

3. *Горовой А.И.* Справочник по горно-транспортным машинам непрерывного действия. – М.: Недра, 1985. – 367 с.

4. *Справочник* (кадастр) физических свойств горных пород // Под ред. Н.В. Мельникова, В.В. Ржевского, М.М. Протождяконова – М.: Недра, 1975. – 279 с.

5. *Справочник* механика открытых работ. Монтаж, техническое обслуживание и ремонт оборудования // Под общей редакцией М.И. Щадова. – М.: Недра, 1987. – 487 с.

6. *Gilman John J.* Direct Measurements of the Surface Energy of Crystals // J. of Appl. Phys. – 1960. – V. 31. – № 12. – P. 2208–2219.

7. *Obreimoff J.W.* The Splitting Strength of Mica // Proc. Roy. Soc. – London. – 1930. – V. 127. – № 804. – P. 290–297.

8. *Рекомендации* составления планово-расчетных цен на строительные материалы, конструкции и изделия, эксплуатацию строительных машин и механизмов, услуги автотранспорта и продукцию подсобного производства. (I этап). – Министерство транспортного строительства. – Главное научно-техническое управление. Всесоюзный проектно-технологический институт транспортного строительства. ВНИТТРАНССТРОЙ, 1990. – 229 с.