

ниях задачи оказывается непредсказуемой из-за наличия гистерезисных потерь. Разработанная модель показывает возможность существования многозначности решения и раскрывает причину такой многозначности, что является достаточно важным при изучении процессов обезвоживания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Надутый В.П., Прокопишин Л.Н., Хмеленко И.П. Модельные исследования истечения жидкости в слое горной массы через дренажные каналы с сеточными выходными отверстиями / Сб. науч. тр. НГУ. – Днепропетровск, 2008. – Вып. 31. – С. 191-196.
2. Определение закономерностей опускания жидкости в поровых каналах влажной горной массы, лежащей на сетке / В.П. Надутый, В.И. Елисеев, В.И. Луценко, И.П. Хмеленко // Науковий вісник НГУ. – Дніпропетровськ, 2009. – Вип. 2. – С. 71-74.
3. Елисеев В.И. Статические гистерезисные явления в капиллярах / В.И. Елисеев, В.И. // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. трудов ИГТМ НАН Украины. – Днепропетровск, 2006. – Вып. 66. – С. 157-163.

УДК 622.235.5

О.І.Мамедов, ст. преподаватель (КДПУ)

ЕНЕРГЕТИЧНІ ВИТРАТИ НА УТВОРЕННЯ МІКРОТРИЩИН В МАГНЕТИТОВИХ КВАРЦИТАХ ПРИ ВИБУХОВОМУ НАВАНТАЖЕННІ

Теоретическим путем определены энергетические затраты на образование микротрещин в магнетитовых кварцитах при взрывном нагружении

POWER EXPENSES ON A MICROCRACKING IN MAGNETITIC QUARTZITES AT AN EXPLOSIVE LOADING

Theoretical a way power expenses are certain on a microcracking in magnetitic quartzites at an explosive loudening

Вступ. Одним із чинників, які визначають процес руйнування гірських порід, є енергія що передається зруйнованому середовищу. Інтенсивність руйнування залежить від деяких енергетичних характеристик, до числа яких відносяться питома енергоємність руйнування при імпульсних (вибухових) навантаженнях.

Аналіз стану проблеми. Під питомою енергоємністю руйнування мається на увазі робота, яка витрачається на утворення одиниці нової поверхні матеріалу:

$$q_y = \frac{A}{S} \quad (1)$$

де q_y – питома енергоємність руйнування, Дж/см²; A – робота, яка витрачається на руйнування, Дж; S – площа заново утвореної поверхні, см².

При визначенні q_y розміри зразків і характер навантаження вибирають таким чином, щоб звести до мінімуму вплив випадкових факторів.

Існують ряд методів визначення питомої енергоємності руйнування. Найбільш розповсюдженим із них – метод Л.І. Барона [1], сутність якого зводиться до наступного.

Відбирають 10 зразків гірської породи, кожної різновидності, по формі близької до кубу, однакової маси, рівної приблизно 50-100 г. Зразки руйнують з допомогою падаючої ваги на звичайному вертикальному копрі. Маса падаючої ваги дорівнює 20 кг, висота падіння – 1 м. Робота витрачена на руйнування зразка складає 20 кдж. Гранулометричний склад зруйнованих зразків визначають методом ситового аналізу, тобто подрібнений матеріал зразків просівають через стандартні сита № 10, 7, 6, 3, 2, 1 (номер сита відповідає діаметру отворів через які просіюється матеріал), а потім зважувалась кожна отримана фракція. Вміст фракції більше 10 мм, визначають методом поштучного обміру. Величина сумарної заново утвореної поверхні визначають по формулі:

$$S_n = \frac{6}{\gamma} \sum_{i=1}^m \frac{Q_i}{d_i} - S_0, \quad (2)$$

де m – число фракцій; Q_i – вага фракцій, г; d_i – середній лінійний розмір кусків даної фракції, см²; γ – питома вага досліджуваної породи, г/см³; S_0 – початкова поверхня зразка до руйнування, см².

Таким чином, визначають величини, які входять в даний вираз, і по формулі (1) розраховують величину питомої енергоємності руйнування для кожного типу гірських порід.

Недоліки цього методу є велика кількість проміжних операцій (просіювання, зважування), а також збільшення погрішності в обчисленні сумарної заново утвореної поверхні внаслідок втрат і тяжкості розділення по фракціях пиловидних частинок зруйнованого матеріалу, на які приходить значна частина заново утвореної поверхні).

Питома енергоємність руйнування гірських порід, визначена по методиці Л.І. Барона, в більшій мірі відповідає енергоємності руйнування породи в зоні інтенсивного подрібнення, тобто в зоні безпосередньо прилягаючої до вибухового заряду. В зоні середнього і крупного подрібнення енергоємність руйнування буде декілька нижчою.

Мета роботи – визначення енергетичних витрат на утворення мікротріщин в полімінеральному середовищі при дії динамічних навантажень з урахуванням особливостей внутрішньої будови породи.

Методика і результати досліджень.

Згідно методики визначення питомої енергоємності руйнування гірських порід на маятниковому копрі [2] для проведення досліджень були виготовлені зразки правильної форми (у вигляді балочок) розміром 20×20×80 мм із рудних порід Полтавського ГЗКу (пачка K_2^2 і K_2^3), а саме червоносмугастих і сіромугастих залізистих кварцитів.

Питома енергоємність руйнування визначалась роботою, яка витрачалась на ударний злам на маятниковому копрі зразка даного типу і віднесеної до заново

утвореної площі поперечного перерізу. Робота, яка витрачена на руйнування зразка визначали по шкалі, проградуєйованій безпосередньо в кілограмосантиметрах, або по куту підйому (в градусах) маятника, обчислюючи по формулі:

$$A_p = Pl(\cos\beta - \cos\alpha), \quad (3)$$

де P – вага маятника, кг; l – довжина маятника (відстань від його осі до центру ваги), см; α і β – кути підйому маятника відповідно до і після зламу зразка, град.

Величина A_p в обох випадках обчислювалась з точністю до 0,1 кгм. Дана методика володіє відносною простотою і забезпечує високу надійність результатів. Для визначення погрішності досліджень визначався коефіцієнт варіації для кожної групи зразків по формулі:

$$K_v = \frac{q_n}{q_p} \cdot 100\%, \quad (4)$$

де q_p – середня питома енергоємність руйнування порід даного типу, а саме:

$$q_p = \sum_{i=1}^n q_i / n,$$

де n – кількість досліджуваних зразків; $\sum_{i=1}^n q_i$ – сума значень досліджень; n – середня квадратична похибка при дослідженнях, яка буде рівною:

$$q_n = \sqrt{\frac{(q_n - q_1)^2 + (q_p - q_2)^2 + \dots + (q_p - q_n)^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (q_p - q_i)^2}{n-1}} \quad (5)$$

Результати досліджень зразків гірських порід на питому енергоємність руйнування приведені в табл.1.

Наявні в породах структурні недосконалості (межі розділу між різноманітно орієнтованими кристалами і зернами неправильної форми рудних і нерудних мінералів, мікротріщини, пори тощо) їх властивості і характер взаємодії викликають значні місцеві збурення напруженого стану і сильно впливають на руйнування у випадку прикладення до гірських порід зовнішніх навантажень [3]. Тоді робота, яка витрачається на руйнування гірської породи, визначається не тільки зовнішніми механічними умовами, але і наявністю мікротріщинуватості в самому зразку. В результаті робота, здійснена маятником, буде рівною:

$$A = A_3 + A_p \quad (6)$$

де A_3 – робота на зародження тріщин; A_p – робота витрачена на розвиток тріщин.

Оскільки роботою на зародження і розвиток мікротріщин в раніше проведених дослідженнях в цьому регіоні не враховували, то в даній статті зроблена спроба визначити енерговитрати на зародження і розвиток мікротріщин в зразках основної рудної пачки K_2^2 родовища Полтавського ГЗКу.

Таблиця 1 – Результати досліджень по визначенню питомої енергоємності руйнування зразків магнетит-амфіболових сіросмугастих кварцитів пачки K_2^3

№ випробування	Робота руйнування, Дж		Площа знову утвореної поверхні, $см^2$	Питома енергоємність руйнування, Дж/ $см^2$		Примітка
	Паралельно шаруватості порід	Перпендикулярно шаруватості порід		паралельно шаруватості порід	перпендикулярно шаруватості порід	
1	1,66	–	4,36	0,380	–	
2	1,52	–	4,48	0,339	–	
3	1,57	–	4,36	0,360	–	
4	1,31	–	4,51	0,290	–	
5	1,22	–	4,24	0,287	–	
6	1,46	–	4,74	0,308	–	
7	–	1,83	4,64 +4,48	–	–	багаточис. сколи зразків
8	–	2,63	5,06	–	0,520	
9	–	2,28	4,31	–	0,530	
10	–	3,86	5,25	–	0,735	
11	–	1,94	4,76	–	0,408	
12	–	2,53	4,07	–	0,621	
13	–	3,35	5,09	–	0,659	
Середня питома енергоємність руйнування, Дж/ $см^2$				0,324	0,580	
Коефіцієнт варіації, %				11,10	19,13	

Для проведення випробувань виготовлялись зразки гірських порід у формі балочок розміром 20×20×80 мм. Частині із них задавався вертикальний надріз глибиною 2-3 мм на боковій грані зразка, який імітував початкову тріщину. Далі зразок встановлювався таким чином, щоб початкова тріщина знаходилась на протилежній для удару маятником, грані, а потім проводилось дослідження на маятниковому копрі по раніше описаній методиці. Результати досліджень приведені в табл. 2.

Проте питома енергоємність руйнування не може повно характеризувати подрібненість гірських порід. В залежності від фізико-механічних властивостей гірських порід різна частина енергії вибуху передається середовищу, тому при однаковій питомій енергоємності руйнування буде мати місце різноманітна якість подрібнення. Втрати енергії характеризуються коефіцієнтом корисного використання енергії вибуху, тобто відношенням енергії, яка іде на подрібнення гірської породи до загальної енергії вибухових речовин. Експериментальне значення коефіцієнту корисного використання енергії вибуху визначається як відношення питомої енергоємності руйнування (з урахуванням енергоємності на зародження та розвиток мікротріщин) гірської породи до величини енергоємності руйнування при вибуху для конкретних умов і параметрів вибухових робіт. Остання величина представляє собою кількість енергії ВР (вибухової речовини), віднесеної до одиниці заново утвореної поверхні

$$q_v = \frac{E_{BP}}{S_n} \quad (7)$$

де q_v – енергоємність руйнування при вибуху; E_{BP} – енергія, яка виділяється при детонації ВР (вибухової речовини); S_n – величина знову утвореної поверхні.

Таблиця 2 – Результати досліджень по визначенню питомої енергоємності руйнування зразків пачки червоносмугастих магнетитових кварцитів K_2^2 із заданою тріщиною

№	Робота руйнування, Дж		Площа знову утвореної поверхні, cm^2	Питома енергоємність руйнування, Дж/ cm^2	
	паралельно шаруватості порід	перпендикулярно шаруватості порід		паралельно шаруватості порід	перпендикулярно шаруватості порід
1	4,18	–	12,27	3,41	–
2	–	2,78	7,20	–	0,386
3	3,56	–	13,80	0,265	–
4	–	9,00	16,44	–	0,547
5	–	6,52	15,48	–	0,423
6	1,95	–	6,32	0,308	–
7	–	5,71	14,26	–	0,400
8	–	2,91	6,50	–	0,448
9	2,35	–	9,07	0,259	–
10	2,16	–	8,31	0,261	–
Середня питома енергоємність руйнування, Дж/ cm^2				0,287	0,441
Коефіцієнт варіації, %				12,89	14,39

Тоді коефіцієнт корисного використання енергії вибуху буде:

$$\eta = \frac{q_y}{q_v} \cdot 100\%, \quad (8)$$

де q_y – питома енергоємність руйнування гірської породи, Дж/ cm^2 ; q_v – енергоємність руйнування при вибуху Дж/ cm^2 .

Результати випробувань зразків гірських порід на питому енергоємність руйнування q_y брались із таблиці 1 і 2.

Питому енергоємність при вибуху визначили по обчисленню площі знову утвореної поверхні згідно отриманого гранулометричного складу при руйнуванні вибуховими навантаженнями на рудних блоках (табл. 3).

Ефект руйнування, як відомо, оцінюється ступінню подрібнення гірських порід вибухом або кускуватістю, яка впливає на послідові техніко-економічні показники переробки гірничої маси гірничовидобувного підприємства. Ступінь подрібнення гірських порід при вибуху характеризується середнім розміром куска, величиною знову утвореної поверхні гранулометричним складом зруйнованої гірничої маси.

Таблиця 3 – Результати обробки виміру гранулометричного складу магнетитових кварцитів K_2^2 при руйнуванні вибуховим навантаженням

Блок, пачка	Розмір фракцій, мм									
	0-100	100-200	200-300	300-400	400-500	500-600	600-700	700-800	800-900	900-1000
75-45, K_2^2	33,13	18,58	14,07	11,96	7,88	5,06	3,27	2,85	–	3,19
75-44, K_2^2	36,45	23,33	17,18	10,79	4,45	3,61	3,35	0,84	–	–
0-361, K_2^3	34,90	19,57	16,47	11,79	5,30	5,27	1,70	0,69	36,23	1,08

Результати обчислень приведені в табл.4.

Таблиця 4 – Питома енергоємність руйнування по основним типам руд Полтавського ГЗКу

№ п/п	Характеристика порід і їх нашарування	Питома енергоємність руйнування			Коефіцієнт варіації, %
		повна, кДж/м ²	зародження тріщин, кДж/м	розвиток тріщин, кДж/м ²	
1	K_2^2 (руйнування паралельно нашаруванню порід)	4,06	1,19	2,87	8,37
2	K_2^2 (руйнування перпендикулярно нашаруванню порід)	6,11	1,70	4,41	5,57
3	K_2^3 (руйнування паралельно нашаруванню порід)	4,24	1,28	2,96	11,1
4	K_2^3 (руйнування перпендикулярно нашаруванню порід)	5,80	1,72	4,08	19,3

Середньозважений розмір куска гірської породи і величина сумарної знову утвореної поверхні, отриманої при вибухових руйнуваннях визначається фотопланіметричним методом і розраховується по відомим формулам Л.І. Барона:

$$d_{cp} = \frac{\sum \gamma_i d_i}{\sum \gamma_i} = \frac{\sum \gamma_i d_i}{100}, \quad (9)$$

де: γ_i – вихід кожної фракції у вагових процентах; d_i ; – відповідні діаметри фракцій зруйнованого матеріалу.

Площа знову утвореної поверхні при руйнуванні визначається по формулі:

$$S_n = \frac{6}{\gamma} \sum_{i=1}^m \frac{Q_i}{d_i} - S_0, \quad (10)$$

де: γ_i – число фракцій; Q_i ; – вага кожної фракції; d_i ; – середній лінійний розмір кусків даної фракції; γ – питома вага досліджуваної породи; S_0 – площа початкової поверхні масиву.

Аналіз гранулометричного складу при вибуховому руйнуванні рудних гірських порід на кар'єрі Полтавського ГЗКу показує, що із збільшенням питомої

витрати ВР (вибухових речовин) від 0,86 до 1,5 кг/м³ діаметр середнього куска зменшився в 1,4 рази.

При вибуховому руйнуванні масивів частина енергії витрачається на подрібнення, а частина переходить в кінетичну енергію руху осколків (переміщення і розліт). При оцінці енергетичних витрат на подрібнення площі знову утвореної поверхні необхідно враховувати, що кожна тріщина приймає участь в створенні двох нових поверхонь.

В достатньо великих об'ємах матеріалу вплив мікротріщин вирівнюється до деякої середньої величини, постійної для даного типу вибухової речовини. Тому можна допустити, що мікротріщини рівномірно розподілені по всьому досліджуваному об'ємі.

Нехай при вибуховому руйнуванні зразків породи кубічної форми з ребром l утворюється n приблизно однакового розміру кусочків зруйнованого матеріалу кубічної форми з ребром i рівним діаметру середнього куска d_{cp} (при рівномірному подрібненні).

Тоді:

$$n = \frac{1}{l} = \frac{L}{d_{cp}}, \quad (11)$$

де n – показник, який характеризує ступінь подрібнення зразка кубічної форми; L – лінійний розмір зразка кубічної форми до вибухового руйнування; $l = d_{cp}$ – лінійний розмір або діаметр середнього куска зруйнованого матеріалу.

Поверхня зразка S і ΔS куска будуть відповідно дорівнювати:

$$S = 6L^2; \quad \Delta S = 6l^2 = 6d_{cp}^2.$$

Тоді сумарна знову утворена поверхня буде:

$$\Delta S_{\text{н}} = n^3 \Delta S - S = 6L^2 \left(\frac{L}{d_{cp}} - 1 \right). \quad (12)$$

При руйнуванні по площинам, утвореним тріщинами, визначаємо кількість останніх в заданому об'ємі по формулі:

$$K = 3n^2(n-1) = \frac{3L^2}{d_{cp}} \left(\frac{L}{d_{cp}} - 1 \right). \quad (13)$$

Енергія витрачена на руйнування і переміщення гірської породи визначається наступним чином:

$$E_p = E_{\text{зар}} + E_{\text{розв}} + E_{\text{пер}}, \quad (14)$$

де $E_{\text{зар}}$; $E_{\text{розв}}$; $E_{\text{пер}}$ - відповідно енергетичні витрати на зародження тріщин, їх розвиток і переміщення зруйнованої гірничої маси.

Енергетичні витрати на зародження мікротріщин пропорційні їх кількості в розглянутому об'ємі і розраховуються по формулі:

$$E_{\text{зар}} = \alpha_{\text{зар}} d_{cp} K = 3\alpha_{\text{зар}} \frac{L^2}{d_{cp}} \left(\frac{L}{d_{cp}} - 1 \right) = 3\alpha_{\text{зар}} \frac{L^3}{d_{cp}} \left(\frac{1}{d_{cp}} - \frac{1}{L} \right). \quad (15)$$

Енергетичні витрати на розвиток зароджених мікротріщин в одиниці об'єму будуть:

$$e'_{\text{зар}} = \frac{E_{\text{зар}}}{L^3} = \frac{3\alpha_{\text{зар}}}{d_{\text{cp}}} \left(\frac{1}{d_{\text{cp}}} - \frac{1}{L} \right).$$

Враховуючи, що параметр L характеризує розмір середньої дійсної окремос-ті в масиві D_{cp} , отримаємо:

$$e'_{\text{зар}} = \frac{3\alpha_{\text{зар}}}{d_{\text{cp}}} \left(\frac{1}{d_{\text{cp}}} - \frac{1}{D_{\text{cp}}} \right), \quad (16)$$

де $\alpha_{\text{зар}}$ – питома робота, яка витрачається на зародження тріщини одиничної ширини, Дж/м; $e'_{\text{зар}}$ – енергетичні витрати на зародження розвинутих тріщин в одиниці об'єму, Дж/м³; D_{cp} і d_{cp} – лінійний розмір середнього куска відповідно в масиві і зруйнованої гірничої маси, м.

Крім того, в породі зароджується безліч тріщин не розвинутих в процесі вибуху. Питома робота на зародження таких мікротріщин важковизначаєма. Частково ця робота може бути врахована за рахунок зміни міцності породи після вибухової відбійки, а саме:

$$e''_{\text{зар}} = \frac{\sigma_0^2 - \sigma_1^2}{2E}. \quad (17)$$

Тоді величина енергії на зародження тріщин може бути визначена по формулі:

$$e_{\text{зар}} = e'_{\text{зар}} + e''_{\text{зар}} = \frac{3\alpha_{\text{зар}}}{d_{\text{cp}}} \left(\frac{1}{d_{\text{cp}}} - \frac{1}{D_{\text{cp}}} \right) + \frac{\sigma_0^2 - \sigma_1^2}{2E}, \quad (18)$$

де σ_0 – міцність зразка породи гірського масиву до дії вибухового навантаження, Па; σ_1 – міцність зразка гірської породи після дії вибухового навантаження, Па; E – модуль повздовжньої пружності матеріалу, Па.

Енергетичні витрати на розвиток тріщин пропорційні знову утвореній поверхні і обраховуються по формулі:

$$E_{\text{розв}} = \alpha_{\text{розв}} \Delta S_{\text{н}} = 6\alpha_{\text{розв}} L^2 (n-1), \quad (19)$$

де $\alpha_{\text{розв}}$ – питома енергія розвитку тріщин, Дж/см²; $\Delta S_{\text{н}}$ – сумарна знову утворена поверхня, яка обчислюється по формулі (3.21), м².

Тоді:

$$e_{\text{розв}} = \frac{E_{\text{розв}}}{L^3} = \frac{6\alpha_{\text{розв}}}{L} (n-1).$$

Приймаючи, $L = D_{\text{cp}}$, записуємо:

$$e_{\text{розв}} = \frac{6\alpha_{\text{розв}}}{D_{\text{cp}}} (n-1). \quad (20)$$

Величина енергетичних витрат, які витрачаються на переміщення і розліт зруйнованих кусків при вибуху, визначається по формулі:

$$E_{\text{пер}} = \frac{m\vec{v}_p^2}{2}, \quad (21)$$

при цьому питомі енергетичні витрати на переміщення ($m=\rho$), будуть:

$$e_{\text{пер}} = \frac{E_{\text{пер}}}{V} = \frac{\rho \bar{v}_p^2}{2} \quad (22)$$

де m – маса об'єму, що руйнується; ρ – щільність зруйнованого матеріалу; \bar{v}_p – середньоквадратична швидкість переміщення кусків. Загальні питомі енерговитрати на руйнування визначаємо як суму складових:

$$e_p = e_{\text{зар}} + e_{\text{розв}} + e_{\text{пер}} \quad (23)$$

Підставляючи формули (18), (20), (21) в (23) і роблячи відповідні перетворення остаточно отримаємо вираз енергії, яка витрачається на руйнування і утворення кусків з урахуванням витрат на зародження і розвиток мікротріщин, який запишемо в наступному вигляді:

$$e_p = \frac{3(n-1)}{d_{\text{ср}} D_{\text{ср}}} [\alpha_{\text{зар}} + 2\alpha_{\text{розв}} (D_{\text{ср}} + d_{\text{ср}})] + \frac{\sigma_0^2 - \sigma_1^2}{2E} + \frac{\rho \bar{v}_p^2}{2} \quad (24)$$

Таким чином, проведений теоретичний аналіз показує, що енергетичні витрати залежать від ступеню подрібнення і питомої енергоємності руйнування з урахуванням енергетичних витрат на зародження і розвиток мікротріщинуватості.

Питому енергоємність зародження і розвиток мікротріщин визначили по методиці з використанням маятникового копра. По даній методиці, для проведення досліджень були виготовлені зразки правильної форми, у вигляді балочок, розміром $20 \times 20 \times 80$ мм із залізистих кварцитів пачки K_2^2 і K_2^3 , які добуваються на Полтавському гірничо-збагачувальному комбінаті Кременчуцького гірничо-видобувного регіону.

Питому енергоємність руйнування визначали роботою, яка витрачається на ударний злам на маятниковому копрі, зразка певного типу породи і віднесеної до знову утвореної площі поперечного перерізу. Роботу, витрачену на руйнування зразка визначаємо по куту підйому (в градусах) маятника

$$A_p = mGl(\cos \beta - \cos \alpha), \quad (25)$$

де m – маса маятника, кг; G – питома вага досліджуваної породи, кг/м³; l – довжина маятника (відстань від його осі до центру ваги), м; α і β – кути підйому маятника відповідно до і після зламу зразка, град.

Величина A_p в обох випадках обчислювалась з точністю до 1 Дж. Питома енергоємність руйнування розраховувалась, як відношення роботи A_p до площі перерізу зразка F

$$a_p = \frac{A_p}{F} \quad (26)$$

По результатам досліджень серії зразків визначали середнє значення питомої енергоємності руйнування:

$$\bar{a}_p = \frac{\sum_{i=1}^n a_{p_i}}{n} \quad (27)$$

де: n – кількість досліджуваних зразків.

Середньоквадратична похибка при дослідженнях складала:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (a_p - a_i)^2}{n-1}}, \quad (28)$$

а коефіцієнт варіації, відповідно:

$$K_v = \frac{S}{\bar{a}_p} \quad (29)$$

Для визначення роботи розвитку тріщинуватості в серії зразків розміром $20 \times 20 \times 80$ мм створювали надріз глибиною 1-2 мм на ширину балочки, який імітував або слугував початком розвитку тріщини. Дослідження проводили на м'ятниковому копрі згідно вище описаної методики.

Так як робота руйнування рівна

$$A_p = A_{зар} - A_{розв}, \quad (30)$$

то находимо роботу, витрачену на зародження тріщини, а саме:

$$A_{зар} = A_p - A_{розв} \quad (31)$$

де $A_{зар}$ – робота на зародження тріщини; $A_{розв}$ – робота на розвиток тріщини.

По експериментальним даним визначаємо питому енергоємність зародження і розвитку тріщин по формулах:

$$a_{зар} = \frac{A_{зар}}{h^2} \quad (32)$$

$$a_{роз} = \frac{A_{роз}}{F} \quad (33)$$

де: h – висота тріщини (в дослідженнях приймалась висота поперечного перерізу зразка, а також, що кожна тріщина утворює одночасно дві поверхні).

Результати обробки експериментальних досліджень на зразках гірських порід рудних пачок K_2^2 і K_2^3 Полтавського ГЗКу приведені у таблиці 5.

Отримані значення для сіросмугастих кварцитів питомих енергетичних витрат на руйнування (табл.5), а також зміни їх міцності в результаті дії вибуху ($\sigma_0 = 2232 \text{ кг/м}^2 = 2232 \cdot 10^5 \text{ Па}$; $\sigma_1 = 1565 \cdot 10^5 \text{ Па}$; $E = 1,2 \cdot 10^{11} \text{ Па}$) і середньоквадратичної швидкості переміщення гірничої маси ($V_p = 8 \text{ м/с}$ при питомій витраті ВР (вибухових речовин) $q = 1 \text{ кг/м}^3$) покладені в основу розрахунку енергетичних витрат на подрібнення і переміщення гірничої маси по формулі (24).

$$e_p = \frac{3 \cdot (4-1) \cdot 10^3}{0,25 \cdot 1} [1,7 + 2 \cdot 4,41(1+0,25)] + \frac{2,23 \cdot 10^{16} - 1,56 \cdot 10^{16}}{1,2 \cdot 10^{11}} + \frac{3400 \cdot 8^2}{2} = 8,6 \cdot 10^6 \text{ Дж.}$$

Таблиця 5 – Питома енергоємність руйнування гірських порід, які залучаються в переробку на Полтавському ГЗКу

№ п/п	Характеристика зразків порід і їх нашарування	Питома енергоємність руйнування			Коефіцієнт варіації, %
		повна кДж/м ²	зародження тріщини, кДж/м ²	розвиток тріщини, кДж/м ²	
1	Червоносмугасті кумінгтоніто-магнетитові кварцити пачки K_2^2	4,06	1,19	2,87	8,37
	а) руйнування паралельно нашаруванню; б) руйнування перпендикулярно нашаруванню	6,11	1,70	4,41	5,57
2	Сіросмугасті магнетит-амфіболові кварцити пачки K_2^3	4,24	1,28	2,96	11,1
	а) руйнування паралельно нашаруванню; б) руйнування перпендикулярно нашаруванню	5,80	1,72	4,08	19,3

Питома енергія ВР (вибухових речовин) складає:

$$E_{\text{ВР}} = q \cdot E_0 = 4,2 \cdot 10^6 \text{ Дж}.$$

Коефіцієнт корисного використання (ккд) енергії вибуху буде:

$$\eta = \frac{e_p}{E_{\text{ВР}}} = \frac{8,6 \cdot 10^6}{4,2 \cdot 10^6} = 0,205,$$

або 20,5%.

При цьому витрати енергії на переміщення складають 20 % від питомої енергії ВР.

При питомих витратах ВР (вибухових речовин) 1,5 кг/м³

$$E_{\text{ВР}} = 4,2 \cdot 10^6 \times 1,5 = 6,3 \cdot 10^6 \text{ Дж}.$$

Передбачаючи, що ккд вибуху суттєво не зміниться, то на руйнування і переміщення гірської породи буде витрачено:

$$e_p = E_{\text{ВР}} \cdot S = 6,3 \cdot 10^6 \cdot 0,205 \approx 12,6 \cdot 10^5 \text{ Дж}.$$

Результати швидкісної кінозйомки і параметри розвалу показують, що середньоквадратична швидкість переміщення гірничої маси при вибуху складає 13 м/с. очікуваний діаметр середнього куска при $q = 1,5 \text{ кг/м}^3$ можна розрахувати по формулі (24) знаючи e_p і вирішуючи квадратне рівняння відносно $d_{\text{ср}}$. По результатам розрахунку, при цих умовах, $d_{\text{ср}} = 200 \text{ мм}$. Фактично вимірний середній діаметр куска на блоці, який був зруйнований вибухом при $q = 1,5 \text{ кг/м}^3$,

по даним фотопланіметричної зйомки, склав – 196,8 мм. Це говорить про те, що теоретичні залежності вибухового руйнування гірських порід підтверджуються практичними даними отриманими в ході проведення відповідних досліджень на реально зруйнованих вибухом гірських масивах (блоках).

У відповідності з викладеною методикою визначені деякі енергетичні характеристики вибухового руйнування гірських порід Полтавського ГЗКу, які наведені у табл.6.

Таблиця 6 – Енергетичні характеристики руйнування гірських порід Полтавського ГЗКу

№ з/п	Характеристика порід	Питомі витрати ВР, кг/м ³	Середня питома енергоємність руйнування Дж	Енергоємність руйнування при вибуху, Дж	Коефіцієнт корисної дії енергії вибуху, %
1	Червоносмугасті магнетитові кварцити K_2^2	0,86	0,107	0,508	21,00
2	Червоносмугасті кумінгтоніто-магнетитові кварцити K_2^2	1,13	0,090	0,477	19,00
3	Сіросмугасті магнетит амфіболові кварцити K_2^3	1,00	0,105	0,517	30,50

Висновки

В результаті визначення енергетичних витрат на утворення мікротріщин в магнетитових кварцитах Полтавського гірничозабачувального комбінату при вибуховому навантаженні встановлено наступне:

– коефіцієнт корисного використання енергії вибуху при використанні штатних вибухових речовин складає приблизно 20 %;

– теоретичні залежності вибухового руйнування гірських порід, що приведені у статті, підтверджуються практичними даними, отриманими в ході проведення відповідних досліджень на реально зруйнованих вибухом гірських масивах (блоках).

– конкретні значення енергетичних витрат на утворення мікротріщин в полімінеральному середовищі при дії динамічних навантажень з урахуванням особливостей внутрішньої будови породи, можна використовувати для прогнозування ступеню подрібнення гірничої маси.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Барон Л.И. Определение свойств горных пород / Л.И.Барон, Б.М.Логунцов, Е.З.Позин // Госгортехиздат, 1962. – С. 89-93.
2. Комир В.М. Метод определения энергоемкости разрушения горных пород / В.М.Комир, Ю.А.Рогозний, В.Н.Чебенко, В.А.Никифорова, В.Г.Назаренко // Механика и разрушение горных пород. – К.: Наук.думка, 1977. – С. 35-37.
3. Барон Л.И., Неоднородность структуры горных пород и энергоемкость различных видов разрушения / Л.И.Барон, В.М.Ткаченко, Л.Г.Керкелица // Механика и разрушение горных пород. – К.: Наук. думка, 1977 – С.88-90.