

## РОЗРОБКА КОРИСНИХ КОПАЛИН

УДК 622.235.5: 622.271

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.5/31>

**Коновал В.М.**

Черкаський державний технологічний університет

**Ищенко К.С.**

Інститут геотехнічної механіки імені М.С. Полякова Національної академії наук України

### ОЦІНКА ЕНЕРГОЄМНОСТІ РУЙНУВАННЯ АНІЗОТРОПНИХ ГІРСЬКИХ ПОРІД СКЛАДНОЇ БУДОВИ ЗА РІЗНИХ УМОВ ЇХ ДИНАМІЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ

У дослідженні розкрито особливості внутрішньої будови й фізико-механічні властивості родовищ нерудних корисних копалин Українського щита, що істотно впливають на механізм руйнування їх енергією вибуху. Проведено детальний аналіз отриманих показників фізико-механічних характеристик порід складної будови, таких як міцність на одновісне стискування, щільність, швидкість поздовжніх і поперечних хвиль, коефіцієнт Пуассона й модуль Юнга на відібраних зразках породи родовища гранітів «Сівач» (Черкаська обл.), кар'єрів Новопавлівський і Капустянський (Кіровоградська обл.). На відібраних зразках породи в лабораторних умовах на верстаті відрізним алмазним диском виготовляли моделі кубічної форми з розміром ребра  $40 \pm 2$  мм для проведення їх випробувань згідно із чинними Держстандартами. За результатами руйнування зразків гранітів вище наведених родовищ зарядами різної форми перерізу й вільно падаючого вантажу на ударному копрі проведено комплексну оцінку енергоємності їх руйнування. Для цього зразки порід кубічної форми руйнувалися зарядами високбризантної вибухової речовини типу тену масою 150 мг. Подовжені заряди циліндричної форми у вигляді квадратної та трикутної призми розміщали в зарядній порожнині, пробуреній у центрі однієї з граней моделі на глибину  $2/3$  її висоти й діаметром 4–5 мм. Підриг зарядів проводили детонатором миттєвої дії з використанням неелектричної системи ініціювання типу «Прима ЕРА» дистанційно вибуховим приладом ПІВ 100. Продукти руйнування розділяли на фракції методом ситового аналізу, за даними якого розраховували новоутворену поверхню, а питому енергоємність руйнування зразків вибухом зарядами різної форми перерізу й вільно падаючим вантажем на ударному копрі оцінювали за показниками новоутворених поверхонь продуктів руйнування моделей. Результати експериментів показали, що найефективнішим зарядом за енергоємністю руйнування гранітів є подовжені заряди вибухової речовини трикутної форми в поперечному перерізі. Заряди вибухової речовини квадратної форми поперечного перерізу й суцільної конструкції мало відрізняються за показниками енергоємності руйнування зразків гранітів, однак подовжені заряди у вигляді квадратної призми забезпечують зменшення виходу Perezdrіbnenih фракцій на контакті «вибухова речовина – порода».

**Ключові слова:** граніт, вибух, удар, новоутворена поверхня, енергоємність руйнування.

**Постановка проблеми.** Характерна особливість розробки родовищ корисних копалин відкритим способом – це значне збільшення глибини кар'єрів і відповідне зростання обсягів видобутку обводнених гірських порід. Особливо це зазначено на прикладі залізорудних кар'єрів Кривбасу, Полтавського гірничозбагачувального комбінату, гранітних кар'єрів України, обводненість гірських порід яких зросла до 60–85%, а на деяких кар'єрах досягла 90% і більше.

Зростання обводненості гірських порід на кар'єрах негативно позначається на ефектив-

ності буропідричних робіт як із позиції якості дроблення, так і з позиції економії процесів вибухової відбійки. Водночас ефективність підричних робіт залежить від багатьох факторів, у тому числі від фізико-механічних властивостей і структурних особливостей масиву гірських порід, його гідрогеологічного стану, діаметру й форми поперечного перерізу свердловинного заряду, просторового розміщення заряду в масиві, схем підривання, конструкції заряду, типу вибухових речовин тощо [1]. Рішення сформульованих вище

проблем потребує впровадження невідкладних заходів щодо вдосконалення існуючих і розробки нових технічних рішень з ефективності відбійки міцних гірських порід складної структури з урахуванням гірничотехнічних і гідрогеологічних умов розробки корисних копалин.

#### Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Визначальним фактором у процесі вибухового руйнування гірських порід є енергія, що передається твердому середовищу під час детонації вибухової речовини. Дроблення гірських порід у загальному випадку залежить від енергоємності руйнування під час механічних і динамічних навантажень, а також від коефіцієнта корисної дії енергії вибуху. Звідси випливає, що важливим аспектом у підвищенні ефективності руйнування міцних порід складної будови є присутність у масиві зв'язаної води, що впливає на міцності властивості порід, які необхідно враховувати під час оцінки можливої зміни характеру їх вибухового дроблення. Зокрема, доведено [2], що, якщо в сухих породах основним механізмом впливу на них енергії вибуху заряду вибухової речовини (далі – ВВ) є ударна хвиля, яка з відстанню переходить у хвилю напружень і продукти детонації, що розширюються, то в обводнених породах з'являються механізми впливу на породу, пов'язані з присутністю в зарядній порожнині води, її зміщенням і витісненням. Під час вибуху заряду в заповненій водою зарядній порожнині енергія ВВ витрачається на нагрівання води й на збільшення кінетичної енергії прилеглих до поверхні частинок води, що утворюється після детонації ВВ у вибуховій порожнині. За великих швидкостей під час розширення порожнини виникає ударна хвиля, яка переходить у породу й сприяє її попередньому руйнуванню. Продукти детонації, що розширюються, сприяють проникненню води в утворені хвилиною напружень тріщини, змінюючи характер руйнування породного масиву.

З вище сказаного випливає, що робочим інструментом під час виконання вибухових робіт є енергія вибуху заряду ВВ, яка залежить від типу ВВ, а для сучасних ВВ, до яких належать найпростіші й емульсійні ВВ, – енергія, яка змінюється в значних межах.

Аналіз сучасного стану буропідривних робіт (далі – БПР) на кар'єрах України, глибина яких досягла 360–370 м і більше, показує, що частка міцних порід залізорудних кар'єрів Кривбасу становить близько 75% [3], тоді як міцність порід на кар'єрах нерудної промисловості нижче й коливається в межах 6–16 балів за шкалою проф.

М.М. Протод'яконова. Тому вибір типу ВВ визначається як за міцністю порід, так і за рівнем їх обводненості, а також за технічними можливостями підприємств. Згідно з наведеними вище вимогами визначаються тенденції у виборі вибухових речовин для відкритих гірських робіт, що забезпечують економічну й екологічну безпеку на гірничовидобувних підприємствах України.

Так, донедавна асортимент промислових ВВ для відкритих гірничих робіт в Україні був представлений в основному ВВ із вмістом тротилу (гранулол, грамоніт 79/21, акватол Т-20Г (ГЛТ-20Г), а також гранулітами типу КС-1, Д-5, АС-4, АС-8, ігданітом, а останнім часом (до 90%) – емульсійними ВВ типу «Україніт», Анімікс, ПРИМА ЕРА й іншими ВВ найпростішого складу.

Практика ведення вибухових робіт із використанням емульсійних ВВ і ВВ найпростішого складу показала переважаючі перспективи їх використання на кар'єрах рудної та нерудної промисловості. А завдяки розробкам ефективних технологій формування свердловинних зарядів із використанням гідроізоляційних оболонок [4–8] їх застосування забезпечить зниження вартості БПР та екологічну безпеку на підприємствах гірничо-металургійного комплексу.

Одним зі шляхів поліпшення безпеки та якості відбійки гірських порід є врахування структури масиву й анізотропії фізико-механічних властивостей гірських порід, які суттєво впливають на характер їх руйнування енергією вибуху. Традиційний шлях зниження негативного впливу масових вибухів у кар'єрах – це зменшення маси ВВ у зарядах, що одночасно підриваються, але за такої умови не враховують структуру масиву гірських порід (анізотропія фізико-механічних властивостей порід, що підривають, присутність тріщин із різними морфологічними характеристиками та їх інтенсивністю), які впливають на характер поширення вибухових хвиль. А тим часом урахування особливостей тріщинно-тектонічної будови масиву в нових способах вибухової відбійки порід складної будови, що розробляються, може не тільки істотно підвищити якість видобутку рудних і нерудних корисних копалин, а й значно зменшити хвилюву дію масового вибуху (далі – МВ). Причому, як встановлено раніше [9–11], в анізотропному гірському масиві в процесі еволюції сформувались подовжені зони підвищеної тріщинуватості, які чергуються із зонами виключно монолітних порід. Присутність таких зон у масиві, що розробляється, істотно ускладнює ведення вибухових робіт у кар'єрах. Із цього

впливає, що процеси, що відбуваються в масиві складної будови на контакті «ВР-порода», не досить вивчені. Крім того, немає чіткого уявлення про вплив макроструктури на характер поширення хвиль напружень та їх впливу на об'єкти, що знаходяться під охороною (житлові будинки й споруди). Тим часом якість дроблення гірських порід у процесі руйнування їх вибухом можна оцінити, враховуючи багато чинників, таких як: енергія, що передається твердому середовищу, питома поверхнева енергія руйнування, новоутворена поверхня, діаметр середнього куска й ступінь подрібнення.

У зв'язку із цим дослідження, пов'язані з розробкою нових ресурсозберігаючих способів відбійки гірських порід, які базуються на врахуванні тріщино-тектонічної будови масиву й анізотропії їх фізико-механічних властивостей, залишаються актуальними й натеper.

Робота виконується відповідно до комплексної програми Національної академії наук України з розробки безвідходних технологій видобування корисних копалин відкритим способом «Наукове обґрунтування розвитку безвідходних технологій видобування корисних копалин відкритим способом зі зменшенням їх шкідливого впливу на навколишнє середовище» (№ ДР 0120U101113).

**Постановка завдання.** Метою роботи є дослідження структурних особливостей і фізико-механічних властивостей міцних гірських порід складної будови родовищ гранітів Українського щита (далі – УЩ), а також оцінка їх впливу на енергоємність руйнування за різних умов їх динамічного навантаження. Для досягнення мети проведено

комплексні дослідження на відібраних зразках порід, з яких виготовлені прозорі петрографічні шліфи, і за допомогою оптичних методів виконано аналіз структурних особливостей порід, на моделях кубічної форми досліджено їх фізико-механічні властивості й оцінено енергоємність їх руйнування за різних умов їх динамічного навантаження.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Для вивчення фізико-механічних властивостей, структурних особливостей та оцінки питомої енергії руйнування гірських порід складної будови за різних умов їх динамічного навантаження були розроблені способи оцінки їх змін у лабораторних і полігонних умовах [12–13].

Вивчення цих змін проводилось на зразках порід, які відібрані на кар'єрах «Сівач», Новопапівський і Капустянський в аналогічних гірничо-геологічних умовах у формі куба з ребром 350 мм. Відомості про зразки порід наведено в табл. 1.

Для детального аналізу отриманих показників фізико-механічних характеристик порід складної будови, таких як міцність на одновісне стискання, щільність, швидкість поздовжних і поперечних хвиль, коефіцієнт Пуасону й модуль Юнга, з відібраних проб зразків породи (табл. 1) у лабораторних умовах на верстаті відрізним алмазним диском виготовляли моделі кубічної форми з розміром ребра  $40 \pm 2$  мм для проведення їх випробувань згідно з діючими Держстандартами й відомими методиками [14–19].

Значення акустичних і фізико-механічних характеристик досліджуваних зразків гірських порід наведені в табл. 2, а оцінку структурних особливостей гірських порід проводили на про-

Таблиця 1

**Відомості про зразки порід, відібрані для досліджень їх структурних особливостей, фізико-механічних властивостей і питомої енергії їх руйнування**

№ п/п	Тип породи	Місто відбору проб	Розмір зразка, мм	Характеристика породи
1	Граніт – сірий великозернистий	Кар'єр «Сівач» м. Корсунь-Шевченківський Черкаська обл.	350 x 350 x 350 мм	Структура овоїдна польового шпату, з вкрапленнями світло-сірого кольору дрібних зерен ортоклазу, розовато-коричневого відтінку
2	Граніт – рожевий великозернистий	Кар'єр «Сівач» м. Корсунь-Шевченківський Черкаська обл.	350 x 350 x 350 мм	Структура овоїдна, утворена крупними овоїдами польового шпату (розмір до 5 см), в основному ортоклазу рожевого кольору
3	Граніт – сірий, орієнтований	Кар'єр Новопапівський, гор. +80 м Кіровоградська обл.	350 x 350 x 350 мм	Граніт світло-сірий (плагіо-граніт), середньої великозернистої текстури
4	Граніт – червоний великозернистий	Кар'єр Капустянський, гор. +26 м Кіровоградська обл.	350 x 350 x 350 мм	Граніт м'ясочервоний, великозернистий, міцний

зорих петрографічних шліфах (рис. 1) оптичними методами з використанням мікроскопу МП-2.

Для визначення питомої енергії руйнування гранітів динамічними навантаженнями різних видів, тобто ударом вільно падаючого вантажу й вибухом подовжених зарядів ВР із різною формою поперечного перерізу була розроблена спеціальна методика експериментальних досліджень, яка дозволяє в лабораторних і полігонних умовах оцінювати характер і питому енергію їх руйнування.

Відповідно до розробленої методики передбачалось провести дві серії експериментальних досліджень, а саме: руйнування зразків гірських порід вільно падаючим вантажем і руйнування зразків гірських порід під час вибуху зарядів ВР різної форми перерізу.

Згідно з розробленою методикою були проведені експериментальні дослідження на моделях, виготовлених із сірого, рожевого, червоного сірого великозернистого, сірого орієнтованого

гранітів міцністю  $f = 12-13$  балів за шкалою проф. М.М. Протодьяконова, відібраних на кар'єрах «Сівач» (Черкаська обл.), Новопавлівський і Капустянський (Кіровоградська обл.), на яких відбійку порід веде приватне акціонерне товариство «Укргровибухпром».

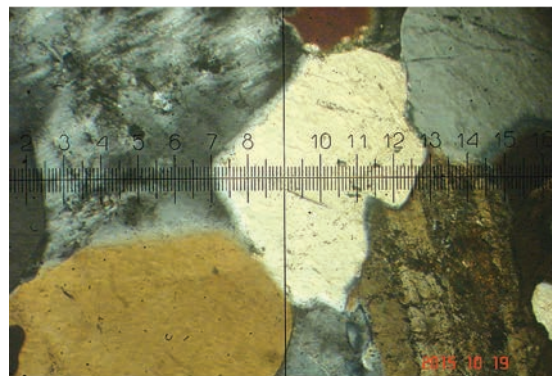


Рис. 1. Мікрофотографія структури граніту – сірого великозернистого (кар'єр «Сівач», Черкаська обл.; прозорий шліф, збільшення 150×)

Таблиця 2

Основні фізико-механічні характеристики досліджуваних зразків гірських порід

Тип породи	Місце відбору проб	Щільність, $\rho \cdot 10^{-3}$ , кг/см <sup>3</sup>	Межа міцності на стиснення, $\sigma_{ст.}$ , МПа	Швидкість подовженої хвилі, $V_p$ , м / с	Коефіцієнт Пуассону, $\nu$	Модуль Юнга E, ГПа
Граніт – сірий великозернистий	Кар'єр «Сівач» м. Корсунь-Шевченківський Черкаська обл.	2,7	186,0	4 450	0,24	18,6
Граніт – рожевий великозернистий	Кар'єр «Сівач» м. Корсунь-Шевченківський Черкаська обл.	2,8	180,0	4 350	0,22	19,2
Граніт – сірий, орієнтований	Кар'єр Новопавлівський, гор. +80 м Кіровоградська обл.	2,65	205,2	4 950	0,29	65,0
Граніт – червоний великозернистий	Кар'єр Капустянський, гор. +26 м Кіровоградська обл.	2,55	210,6	5 100	0,28	66,3

Таблиця 3

Характеристики зразків порід

Тип породи	Умови навантаження	Усереднений розмір ребра зразка, $D_{cp}$ , см	Об'єм, V, см <sup>3</sup>	Маса, m, г	Щільність, $\rho \cdot 10^{-3}$ , кг/см <sup>3</sup>	Початкова поверхня, $S_0$ , см <sup>2</sup>
Граніт – рожево-червоний, кар'єр «Сівач»	копер	4,1	70,6	185,0	2,62	102,5
	вибух	4,1	68,9	180,0	2,61	100,9
Граніт – сірий (великозернистий), кар'єр «Сівач»	копер	4,1	68,9	185,0	2,68	100,9
	вибух	4,0	64,0	175	2,65	96,0
Граніт – сірий, орієнтований	копер	4,0	66,9	175,0	2,61	99,2
	вибух	4,0	65,4	165,0	2,52	97,6
Граніт – червоний (великозернистий)	копер	4,1	70,6	185,0	2,62	102,5
	вибух	4,1	68,9	180,0	2,61	100,9

Характеристики зразків порід, підготовлених для досліджень, наведено в табл. 3.

Мета експериментів – оцінка енергетичної ефективності розроблених конструкцій свердловинних зарядів.

Для визначення питомої енергії руйнування вибухом зразків гранітів у підготовлених моделях кубічної форми у центрі однієї з граней бурилась вибухова порожнина діаметром 4–5 мм і глибиною 2 / 3 її висоти, в яких формувались заряди різної форми перерізу для оцінки корисної дії вибуху.

У поперечному перерізі приведені заряди мають форму кола, рівностороннього трикутника й квадрата, які були вписані в коло, з повітряним зазором між поверхнею зарядної порожнини й відповідної форми заряду (рис. 2).

Руйнування моделей вибуховим навантаженням здійснювали в полігонних умовах у закритому металевому боксі, внутрішня поверхня якого футерована гумою. Маса зарядів для всіх моделей високобризантного ВР (тену) складала 150 мг. Підрив зарядів проводили детонатором миттєвої дії з використанням неелектричної системи ініціювання (далі – НСИ) типу «Прима ЕРА» дистанційно вибуховим приладом ПІВ 100. Усього було підірвано 18 моделей (по три заряди з квадратними й трикутними призмами – експериментальними – і три із зарядами суцільної конструкції, а також контрольні для кожного виду граніту).

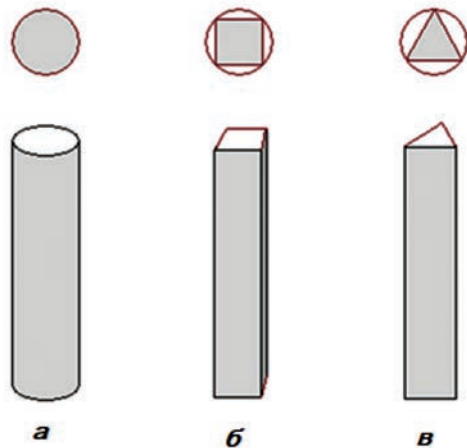


Рис. 2. Конструкції зарядів ВР різної форми перерізу для підірвання гранітних моделей енергією вибуху:

- а – циліндричний суцільної конструкції;
- б – квадратний із повітряним проміжком;
- в – трикутний із повітряним проміжком

Гранітні моделі руйнували також на вертикальному копрі вільно падаючим із висоти 1 м вантажем масою 21,4 кг. Енергія падаючого вантажу становила 210 Дж. На вертикальному копрі

вільно падаючим вантажем зруйновано 6 моделей. Передбачалось, що наведена вантажем енергія в момент удару повністю трансформується в роботу руйнування зразка гірської породи. Іншими словами, енергія, що витрачається на руйнування зразка гірської породи, врешті-решт витрачається на утворення нових поверхонь у зруйнованій породі. Обчислення питомих витрат енергії на одиницю новоутвореної поверхні за результатами руйнування породи в технологічних процесах дає можливість оцінити процес руйнування з боку його енергоефективності.

Дослідження гранулометричного складу зруйнованих ударом і вибухом зразків гірської породи з метою встановлення величини новоутвореної поверхні проводили методом ситового аналізу за допомогою лабораторних сит типу СЛ-200 № 58 із розміром отворів 0,25; 0,5; 1,0; 2,0; 3,0; 5,0; 7,0; 10,0; 12,0; 16,0; 20,0; 26,0; 30,0; 40,0; 50,0; 60,0; 70,0; 80,0 мм та аналізатору ситового А30 (рис. 3) для оцінки гранулометричного складу на макрорівні за відомими методиками [20].

Під час обробки гранулометричного складу зруйнованої моделі подрібнений матеріал аналізували за такими основними показниками: інтенсивність руйнування моделі в цілому; визначення загальної маси моделі; діаметр середнього куска; площа новоутвореної поверхні.

Новостворену поверхню зруйнованих зразків після поділу їх на фракції для визначення гранулометричного складу, розраховували за відомою формулою [13]:

$$S_n = \frac{6}{\rho} \sum_{i=1}^n \frac{m_i}{d_i} - S_0, \quad (1)$$

де  $\rho$  – щільність матеріалу моделі, кг/м<sup>3</sup>;  $S_0$  – початкова поверхня зразка моделі, см<sup>2</sup>;  $m_i$ ,  $d_i$  – відповідно, маса (г) і діаметр (см) середнього куска  $i$ -тої фракції, а діаметр середнього куска визначали за формулою:

$$d_{\text{сеп}} = \sum_{i=1}^i w_i d_i, \quad (2)$$

де  $w_i = m_i/m$  – вміст  $i$ -тої фракції чи  $i$ -того куска, частки одиниці;  $m_i$  – маса  $i$ -тої фракції, г;  $m$  – загальна маса всіх фракцій, г;  $d_i$  – середній розмір  $i$ -того куска чи  $i$ -тої фракції, см.

Енергоемність створеної одиниці нової поверхні характеризує величина, яка називається питомою поверхневою енергією ( $\gamma$ ).

Під час руйнування зразків гірських порід ударом вільно падаючого вантажу енергія, що витрачається одиницею новоутвореної поверхні, розраховується за формулою:



Рис. 3. Зовнішній вигляд аналізатору ситового А30 (а) і набір лабораторних сит СЛ-200 № 58 (б)

$$\gamma_y = \frac{mgh}{S_{ny}}, \quad (3)$$

де  $S_{ny}$  – новоутворена поверхня під час удару;  $m$  – маса вантажу, 21,4 кг;  $g$  – прискорення вільного падіння, 9,8 м/с;  $h$  – висота падіння вантажу, 1,0 м.

Під час руйнування таких же за розміром зразків гірських порід вибухом зарядів вибухової речовини масою  $M$  і теплою вибуху  $Q$  (кДж / кг) енергія  $\gamma_{в}$ , що витрачається на створення одиниці новоутвореної поверхні, розраховувалась таким чином:

$$\gamma_a = \frac{MQ}{S_{на}}, \quad (4)$$

де  $S_{на}$  – новоутворена поверхня під час вибуху, см<sup>2</sup>;  $M$  – маса заряду, кг;  $Q$  – тепло вибуху, кДж/кг; а ступінь подрібнення зразків гранітів розраховувалась за формулою:

$$K_d = D_{cp} / d_{cp}, \quad (5)$$

де  $D_{cp}$  – усереднений розмір ребра зразка моделі, см;  $d_{cp}$  – діаметр середнього куска.

За розрахованими значеннями новоутвореної поверхні зруйнованих зразків гранітів визначали основні енергетичні показники: питому поверхневу енергію руйнування за вільно падаючого вантажу й під час вибуху; діаметр середнього куска і

ступінь подрібнення зразків гірської породи розраховували за формулами (1), (2), (3), (4) і (5).

Результати експериментальних досліджень з оцінки енергетичних показників руйнування гранітів на прикладі родовища «Сівач» наведено в табл. 4, а чисельні значення новоутворених поверхонь сірих і рожевих гранітів, зруйнованих вибухом зарядів різної форми й вільно падаючим вантажем, наведено на рис. 4.

Аналіз даних, наведених у табл. 4 і на рис. 4, свідчить про таке. На питому поверхневу енергію руйнування гранітів істотно впливає форма заряду ВР, а також щільність дефектів будови у вигляді мікротріщин у гранітах.

Установлено, що максимальну питому поверхневу енергію отримано за руйнування сірих гранітів зарядами у формі трикутної призми, а мінімальну питому поверхневу енергію встановлено в разі руйнування рожевих гранітів цими ж зарядами. Також під час руйнування рожевих гранітів подовженими зарядами з трикутною формою поперечного перерізу ступінь подрібнення їх енергією вибуху досягає максимального значення.

Експериментально доведено, що для подовжених зарядів із квадратною формою поперечного

Таблиця 4

**Результати експериментальних досліджень з оцінки енергетичних показників руйнування гранітних моделей (родовище «Сівач») зарядами ВВ різної форми й вільно падаючим вантажем**

Умови навантаження зразків порід вибухом	Новоутворена поверхня, $S_n$ , см <sup>2</sup>		Середній розмір куска, $d_{cp}$		Питома поверхнева енергія руйнування, Дж / см <sup>2</sup>		Ступінь подрібнення зразка, $K_d = D_{cp} / d_{cp}$		Середній діаметр частинок фракції 0–100 мкм	
	Сірий граніт	Рожевий граніт	Сірий граніт	Рожевий граніт	Сірий граніт	Рожевий граніт	Сірий граніт	Рожевий граніт	Сірий граніт	Рожевий граніт
Циліндр	2 417,3	2 696,5	3,64	3,26	0,056	0,028	25,18	28,09	19,44	18,47
Квадратна призма	2 498,0	3 335,8	3,52	2,64	0,058	0,038	26,02	34,75	28,82	27,38
Трикутна призма	2 230,4	3 356,3	3,95	2,62	0,025	0,078	23,23	34,96	16,82	15,47
Ударний копер*	1 025,2	2 098,0	0,205	0,100	–	–	10,68	21,85	–	–

\* – руйнування на ударному копрі вільно падаючим вантажем

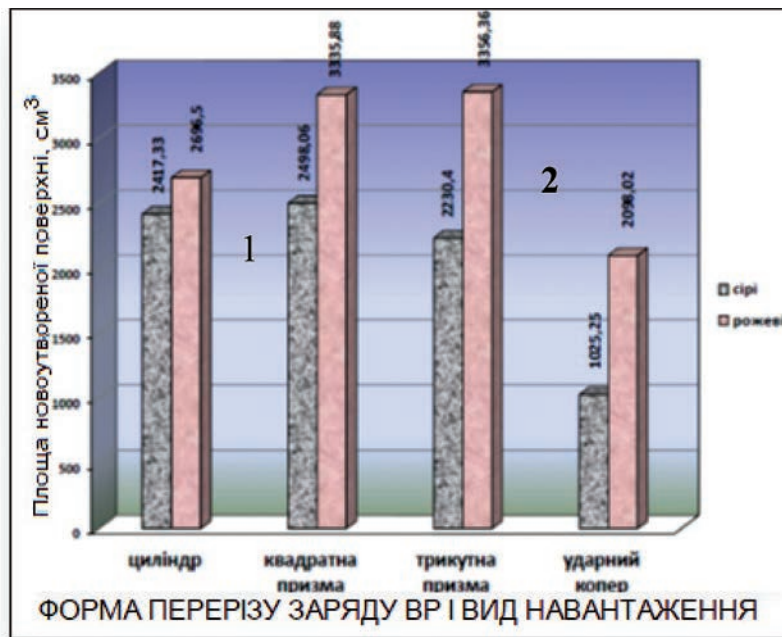


Рис. 4. Площа новоутвореної поверхні за динамічного навантаження зразків гранітів родовища «Сівач»: 1 – сірі граніти; 2 – рожеві граніти

перерізу енергетичні показники руйнування – новоутворена поверхня, питома поверхнева енергія, ступінь подрібнення зразка – мало відрізняються від аналогічних характеристик для циліндричних зарядів у разі руйнування сірих гранітів. Істотні відмінності вищенаведених характеристик спостерігаються під час використання циліндричних зарядів суцільної конструкції для руйнування рожевих гранітів. На наш погляд, така обставина пояснюється відмінностями в особливостях внутрішньої будови сірих і рожевих гранітів. Авторами роботи [10] встановлено, що для гранітів характер руйнування вибухом визначається видом структурних зв'язків між елементами його будови, до яких належать тріщинуватість і шаруватість. Водночас, оскільки кварц у гранітах кристалізується останнім із гранітного розплаву та є свого роду «цементом», що зв'яже між собою зерна інших мінералів, характер руйнування гранітів у цілому залежить від міцності «кварцового цементу». Зі збільшенням кількості

мікротріщин у зернах кварцу зростає інтенсивність руйнування гранітів вибуховими навантаженнями.

**Висновки.** У результаті дослідження отримані такі результати:

- встановлено, що використання подовжених зарядів з трикутною та квадратною формою поперечного перерізу дозволяє збільшити ефективність використання енергії вибуху для руйнування полімінеральних середовищ складної будови, зокрема гранітів;

- визначено, що мікротріщинуватість мінеральних компонентів, що складають породу, зокрема кварцу, сприяє зростанню енергоефективності зарядів різної форми;

- доведено, що для зростання енергетичних показників під час руйнування гранітів з інтенсивно розвиненою мікротріщинуватістю, а саме питомої поверхневої енергії, найефективнішим зарядом є продовжний заряд ВР із трикутною формою поперечного перерізу;

- заряди з квадратною формою поперечного перерізу й циліндричні заряди ВР суцільної конструкції мало відрізняються за питомою поверхневою енергією руйнування, проте заряди у вигляді подовженої квадратної призми забезпечують менший вихід Perezdrіbнених фракцій на контакті «ВР-порода»

- енергетичні показники руйнування гранітних моделей на ударному копрі вільно падаючим вантажем та енергією вибуху значно відрізняються (в 1,5–2,0 раза), що доводить недостатність енергії, яка необхідна для розриву міжзернових контактів у породах складної будови;

- отримані результати досліджень сприятимуть пошуку й розробці нових технічних рішень із підвищення ефективності руйнування міцних гірських порід складної будови енергією вибуху на кар'єрах нерудних корисних копалин.

#### Список літератури:

1. Ефремов Э.И., Мячина Н.И., Никифорова В.А. Влияние свойств горных пород на характер разрушения при взрыве. *Методы и средства разрушения горных пород*. Москва : Из-во МГГУ, 2001. С. 445–455.
2. Станюкович К.П. Неустановившиеся движения сплошной среды. Москва : Наука, 1971. 854 с.
3. Ищенко Н.И., Лисицын Н.В., Монаков В.Ф. Перспективы развития взрывных технологий на карьерах Кривбасса и использования ВМ. *УСИБ*. 2003. С. 18–37.
4. Галкин В.В. Заряжание обводненных скважин неводоустойчивыми ВВ. *Горный журнал*. 1980. № 3. С. 40–45.
5. Бондаренко Н.М., Ткаченко С.С. Заряжание обводненных скважин неводоустойчивыми ВВ. *Горный журнал*. 1988. № 1. С. 39–40.

6. Ефремов Э.И., Петренко В.Д., Чайковский А.И., Кратковский И.Л., Кочерга В.И. Механизированное зарядание взрывных скважин неводоустойчивыми ВВ для дробления обводненных пород. *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 1989. № 2. С. 41–42.

7. Спосіб формування свердловинного заряду вибуховими речовинами : пат. 6518 Україна / Е.І. Єфремов, А.В. Пономарьов, В.В. Бараннік, В.Г. Ковалевич, В.П. Мартиненко № у 20040907557 ; заявл. 16.09.04 ; опубл. 16.05.05. Бюл. № 5.

8. Прокопенко В.С. Фізико-технічні основи руйнування скельних порід вибухами свердловинних зарядів вибухових речовин у рукавах : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.15.11. Київ : Національний НДІ охорони праці, 2003. 35 с.

9. Ефремов Э.И., Петренко В.Д., Рева Н.П., Кратковский И.Л. Механика взрывного разрушения пород различной структуры. Киев : Наук. думка, 1984. 192 с.

10. Кратковский И.Л. Влияние метасоматоза на кливаж гранитоидов. *Геотехническая механика* : Межвед. сб. науч. тр. ; Ин-т геотехн. мех. НАН Украины. Днепропетровск, 2004. Вып. 47. С. 141–151.

11. Ищенко К.С., Кратковский И.Л. Экспериментальные исследования влияния микроструктуры на характер взрывного разрушения урановых руд Ватутинского месторождения. *Научный вестник ДВНЗ «НГУ»*. Днепропетровск, 2008. № 8. С. 58–64.

12. Спосіб оцінки структурних змін анізотропних гірських порід при динамічному навантаженні на моделях : пат. 85757 Україна / К.С. Іщенко, І.Л. Кратковський, О.С. Баскевич № у 201308029 ; заявл. 25.06.13 ; опубл. 25.11.13. Бюл. № 22.

13. Спосіб оцінки енергоємності руйнування анізотропних гірських порід при різних видах навантаження на моделях : пат. 95218 Україна / К.С. Іщенко, С.В. Коновал, Д.В. Савельєв, І.Л. Кратковський, В.В. Круковська № у 201407830 ; заявл. 11.07.14 ; опубл. 10.12.14. Бюл. № 23.

14. ГОСТ 21153.0–75. Породы горные. Отбор проб и общие методы физических испытаний. [Введен с 1975-07-01]. Москва : Изд-во стандартов, 1976. 20 с.

15. ГОСТ 10181.2–81. Смеси бетонные. Методы определения плотности. [Введен с 1981-01-01]. Москва : Изд-во стандартов, 1981. 25 с.

16. ГОСТ 21153.2–84. Породы горные. Метод определения предела прочности при одноосном сжатии. [Введен с 1986-07-01]. Москва : Изд-во стандартов, 1986. 10 с.

17. Временные методические указания по экспресс-определению упругих свойств горных пород ультразвуковым методом на необработанных образцах зерна геологоразведочных скважин РД / А.А. Яланский, Т.А. Паламарчук, С.И. Скипочка и др. Ленинград : ВНИМИ, 1987. 41 с.

18. ГОСТ 21153.7–75. Породы горные. Метод определения скоростей распространения упругих продольных и поперечных волн. [Введен с 1975-01-01]. Москва : Изд-во стандартов, 1976. 35 с.

19. Барон Л.И., Позин Е.З. Определение свойств горных пород. Москва : Гос.научн.-техн.изд.лит.по горному делу, 1962. 332 с.

20. Барон Л.И. Кусковатость и методы ее измерения. Москва : Изд-во АН СССР, 1960. 124 с.

## Konoval V.M., Ishchenko K.S. ESTIMATION OF ENERGY CONTAINMENT OF ANISOTROPIC DESTRUCTION OF ROCKS THE COMPLEX STRUCTURE UNDER DIFFERENT CONDITIONS OF THEIR DYNAMIC LOAD

*The study reveals the features of the internal structure and physical and mechanical properties of deposits of non-metallic minerals of the Ukrainian Shield, which significantly affect the mechanism of their destruction by the energy of the explosion. A detailed analysis of the obtained indicators of physical and mechanical characteristics of rocks of complex structure, such as strength under uniaxial compression, density, velocity of longitudinal and transverse waves, Poisson's ratio and Young's modulus on selected samples of rock granite deposit "Sivach" (Cherkasy region) Novopavlovsky and Kapustyansky (Kirovgrad region). On the selected samples of the rock in the laboratory on a machine with a cutting diamond disk made models of cubic shape with a rib size of  $40 \pm 2$  mm for testing in accordance with current State Standards. According to the results of the destruction of granite samples of the above deposits by charges of different cross-sectional shape and free-falling cargo on the impact dill, a comprehensive assessment of the energy intensity of their destruction. For this purpose, the samples of cubic rocks were destroyed by charges of high-explosive explosive of the tan type weighing 150 mg. Elongated cylindrical charges in the form of square and triangular prisms were placed in the charging chamber, drilled in the center of one of the faces of the model to a depth of  $2/3$  of its height and diameter 4–5 mm. The charges were detonated by an instantaneous detonator using a non-electric initiation system (NSI) type "Prima ERA" remotely blasting machine PIV 100. The destruction products were divided into fractions by sieve analysis according to which the newly formed surface was calculated, and the specific and free-falling load on the impact dill was evaluated by the indicators of the newly formed surfaces of the destruction products of the models. The results of the experiments showed that the most effective charge on the energy intensity of the destruction of granites are elongated charges of explosives of triangular shape in cross section. The charges of explosives of square cross-section and solid construction differ little in the energy intensity of destruction of granite samples, but elongated charges in the form of a square prism provide a reduction in the yield of crushed fractions at the contact "Explosives-rock".*

**Key words:** granite, blast, blow, newly formed surface, energy intensity of destruction.