УДК 622.235 https://doi.org/10.33271/crpnmu/78.018

© М.І. Бельтек[1], О.В. Ган[1], О.О. Фролов[1]
[1]Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ВИБУХОВОГО РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ МАСИВІВ РІЗНОЇ МІЦНОСТІ В ANSYS AUTODYN

© M. Beltek[1], O. Han [1], A. Frolov[1],
[1]National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine

MODELING THE PROCESS OF EXPLOSIVE DESTRUCTION OF ROCK MASSIFS OF DIFFERENT STRENGTH IN ANSYS AUTODYN

Мета. Метою досліджень представленої публікації є виявлення закономірностей дії вибуху в масивах різної міцності при моделюванні процесу руйнування гірських порід у програмному середовищі ANSYS AUTODYN для заданих технологічних умов.

Методика дослідження. Використано комплексний методичний підхід, який полягає в аналізі попередніх результатів наукових досліджень з моделювання дії вибуху в ANSYS AUTODYN, порівняльного аналізу отриманих даних з комп'ютерного чисельного моделювання, графоаналітичне встановлення залежності між об'ємом воронки вибухового руйнування та коефіцієнтом структурного ослаблення гірського масиву.

Результати дослідження. Проведене комп'ютерне моделювання вибухового руйнування гірського масиву в ANSYS AUTODYN показали достовірність отриманих результатів, що підтверджуються даними досліджень науковців та особистим досвідом авторів.

Встановлено, що тривалість активного руйнівного тиску продуктів вибуху в гірській породі при даних умовах становить приблизно 0,35 мс. Подальше руйнування гірського масиву здійснюється під дією накопичених навантажень в породі та інерції руху гірничої маси до 1,0..1,5 мс залежно від міцності гірського масиву.

Отримані епюри руйнувань гранітного гірського масиву з різним ступенем структурного ослаблення, за якими створені об'ємні фігури воронок руйнування та визначені їх об'єми.

Встановлено, що об'єм воронки руйнування граніту, міцність якого приймається як міцність у лабораторному зразку, майже в 6 разів менше за об'єм руйнування максимально структурно ослабленого гранітного гірського масиву.

Наукова новизна. Встановлені графічна та аналітична залежності об'єму воронки руйнування від коефіцієнту структурного ослаблення у гірських масивах різної міцності для заданих умов моделювання.

Практичне значення. Результати моделювання дії вибуху циліндричного заряду вибухової речовини у скельному середовищі дозволяють виконувати оптимізацію параметрів буропідривних робіт на гірничих підприємствах з видобутку корисних копалин, а також при будівництві підземних споруд загального та спеціального призначення у масивах різної міцності.

Ключові слова: *скельний гірський масив, коефіцієнт структурного ослаблення, чисельне моделювання, ANSYS AUTODYN, модель міцності, свердловинний заряд, вибухова речовина, епюра руйнувань, об'єм воронки руйнування.*

Вступ. Багатьма науковими дослідженнями встановлено, що міцність масиву гірських порід на певній ділянці залягання не залишається постійною. Практично у всіх гірських масивах присутні певні структурні неоднорідності, текстурні особливості, а також тріщини, які разом впливають на зниження загальної міцності порід [1, 2]. У зв'язку з цим, науковці виділяють наступні два поняття: «властивості масиву гірських порід» та «властивості порід у гірському масиві». Під властивостями масиву гірських порід розуміють їх властивості в межах, які більші за розміри елементарного блоку. Властивості порід у масиві це властивості порід безпосередньо в об'ємі елементарного блоку (тобто, по суті це лабораторний зразок) [3].

Для встановлення рівня зменшення міцнісних властивостей масиву у порівнянні з лабораторним зразком породи використовують коефіцієнт структурного ослаблення. У загальному вигляді він виражається, як відношення питомих значень міцності масиву та міцності породи, отриманої за результатом лабораторних випробувань [1]. Однак, зазвичай, коефіцієнт структурного ослаблення K_c представляють співвідношенням між межею міцності порід на одноосьове стиснення у гірському масиві $\sigma_{ст.м}$ та одноосьовою межею міцності лабораторного зразка породи $\sigma_{ст.зр}$ [4]:

$$K_c = \frac{\sigma_{ст.м}}{\sigma_{ст.зр}}. \qquad (1)$$

В ідеальному варіанті, коли у гірському масиві, немає тріщин, анізотропії, кліважу та інших характеристик, які впливають на зниження міцності, значення коефіцієнта структурного ослаблення дорівнює *1*. Оскільки такого масиву в природних умовах не існує, то значення K_c, завжди є меншими за *1*. Залежно від різних факторів, нижня межа зміни коефіцієнта структурного ослаблення може досягати до 0,1 і менше. Оскільки K_c пов'язує рівні граничних напружень гірського масиву, то, встановивши його значення, можна підвищити ефективність процесу підготовки скельних порід до виймання на основі достовірної інформації про міцність зазначеного масиву.

При проєктуванні буропідривних робіт (БПР) на кар'єрах використовують показник одноосьової межі міцності лабораторного зразка породи. І тому, при розрахунку параметрів БПР значення відстаней між свердловин, у більшості випадків, отримують заниженими. Це призводить до переподрібнення гірничої маси та необґрунтованого збільшення витрат вибухових речовин (ВР).

З метою одержання більш точних даних про результати руйнування скельного гірського масиву вибухом свердловинного заряду ВР вченими рекомендується чисельне комп'ютерне моделювання дії вибуху в середовищі. Воно дає змогу виявити закономірності дії вибуху у масивах різної міцності та оцінити процес тріщиноутворення в гірській породі з метою оптимізації розташування свердловин ВР на промисловому блоці [5].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Одним з найбільш ефективних програмних продуктів, який дозволяє розв'язувати складні задачі нелінійних високошвидкісних динамічних процесів, є комплекс інженерного аналізу ANSYS

AUTODYN [6]. Використання його дозволяє прослідкувати поведінку гірського масиву під час підривання в ньому заряду ВР на всіх стадіях вибухового навантаження.

Накопичений світовий досвід підтверджує ефективність використання ANSYS AUTODYN, оскільки в ньому найповніше відтворюється фізика досліджуваного явища [7]. Така перевага досягається за рахунок можливості використання 4-х типів вирішувачів, а саме, Лагранжа, Ейлера, довільного Лагранжево-Ейлерового та безсіткового SPH. При виборі вирішувачів потрібно керуватися вихідними умовами поставленої задачі [8]. Для складних нелінійних систем розроблено алгоритм зв'язування окремих типів вирішувачів. Так, зв'язування Ейлерової сітки з Лагранжевою дозволяє розв'язувати задачі щодо взаємодії газів або рідин з твердими матеріалами [5].

В роботі [9] зазначено, що спільне використання Ейлерового та Лагранжевого вирішувачів особливо ефективне при моделюванні дії вибуху у твердому середовищі. Ейлерова система відліку найкраще відповідає моделюванню поширення вибуху, оскільки потоки газів протікають через геометрично постійну сітку, яка може сприймати значні деформації. Гірські породи найкраще моделювати Лагранжевим вирішувачем, тому що задана сітка повною мірою відтворює процеси деформування матеріалу та його руйнування.

Моделювання руйнування середовища здійснюється шляхом розв'язання рівнянь стану (EOS) для певної моделі міцності (критерію) та моделі руйнування [5]. Рівняння стану пов'язують напруження з деформацією і внутрішньою енергією тіла. Модель міцності це реакція матеріалу на зовнішню дію. Наприклад, тверді середовища, у разі надвисоких зовнішніх динамічних навантажень, спочатку можуть реагувати пружно, а потім, при досягненні напруженого стану, який перевищує межу текучості, вони деформуються пластично. Модель руйнування визначає початок руйнування (тріщиноутворення) матеріалу шляхом порівняння наявних значень напружень або деформацій з критичними (стиснення, розтягнення, зсув).

Окремо виділяють так звану модель ерозії матеріалу, що застосовується для подолання проблем щодо спотворень сітки Лагранжа при моделюванні процесу крихкого руйнування. При значних порушеннях розрахункової сітки, дефектний елемент видаляється, а сили, що діють, перерозподіляються на сусідні елементи [8].

Для скельних гірських порід найбільш характерна модель міцності RHT (модель крихкого матеріалу Riedel-Hiermeier-Thom), яка дає можливість прогнозувати щільність наявних тріщин та фрагментацію гірської породи. Вона достатньо точно відображує процес руйнування матеріалу, залежно від значень тиску на фронті ударної хвилі, як під час дії хвиль напружень як розтягнення, так і стиснення.

Дія вибуху заряду ВР найбільш точно описується гідродинамічною моделлю середовища з використанням рівняння стану Johnson-Wilkinson-Lee (JWL), за допомогою якого визначається тиск детонаційної хвилі [10]:

$$p = A\left(1-\frac{w\eta}{R_1}\right)e^{-\frac{R_1}{\eta}} + B\left(1-\frac{w\eta}{R_2}\right)e^{-\frac{R_2}{\eta}} + w\rho e\,, \qquad (2)$$

де p – тиск детонаційної хвилі на фронті; ρ – щільність ВР на фронті поширення детонаційної хвилі; $\eta=\rho/\rho_0$ – коефіцієнт, що показує ступінь збільшення щільності ВР (ρ_0 – початкова щільність ВР); e – питома внутрішня енергія; A, B, R_1, R_2, w – константи для кожного типу ВР, які визначаються експериментально.

Для описання поведінки забійки свердловинного заряду під час вибуху прийнятною є розширена модель міцності Drucker-Prager, оскільки вона враховує особливості, пов'язані з гранульованими та сипучими матеріалами. Крім ущільнення (зміцнення) складових забійки під тиском газів вибуху, модель враховує також зміцнення матеріалу під дією щільності, а також зміну модуля зсуву від щільності. Таким чином, межа текучості матеріалу забійки σ має дві складові:

$$\sigma = \sigma_p + \sigma_\rho, \tag{3}$$

де σ_p – межа текучості за тиском; σ_ρ – межа текучості за щільністю забійки.

Як зазначено в [8], атмосферне повітря є невід'ємною частиною загальної моделі вибухового руйнування скельних порід. Стан повітря можна описати рівнянням стану ідеального політропного газу, яке можна виразити законами Бойля і Гей-Люссака, та модифікованого, з метою уникнення ускладнень при моделюванні з декількома матеріалами (початкові невеликі тиски в газі створюватимуть невеликі небажані швидкості), до вигляду:

$$p = (\gamma - 1)\rho e - P_{shift}, \tag{4}$$

де γ – адіабатична експонента; ρ – щільність атмосферного повітря; P_{shift} – початковий тиск для забезпечення нульового значення початкового тиску.

Отже, як ми бачимо, дослідниками-науковцями відмічається важливість вибору правильних моделей для матеріалів, речовин та газів, оскільки вони повинні пов'язувати внутрішню енергію, напруження та деформації усієї системи. А це, відповідно, впливає на достовірність результатів моделювання.

Формулювання мети дослідження. Зважаючи на представлений вище аналіз наукових робіт щодо ефективності використання програмного комплексу ANSYS AUTODYN при моделюванні вибухового руйнування скельного гірського масиву сформульовано мету представлених у статті досліджень. Вона полягає у виявленні закономірностей дії вибуху в масивах різної міцності при моделюванні процесу руйнування гірських порід у програмному середовищі ANSYS AUTODYN для заданих технологічних умов.

Виклад основного матеріалу. Комп'ютерне моделювання руйнування масиву гірських порід вибухом циліндричного заряду ВР виконано для гранітів Пинязевицького кар'єру. Діаметр модельної свердловини становив 200 мм, загальна довжина свердловини – 3,0 м, використовувана ВР – Анемікс 70. Довжина заряду ВР прийнята 2,0 м, відповідно, довжина забійки – 1,0 м, матеріал забійки – пісок. Фізико-механічні властивості граніту у гірському масиві, тобто міцності породи у лабораторному зразку, наведено на рис. 1.

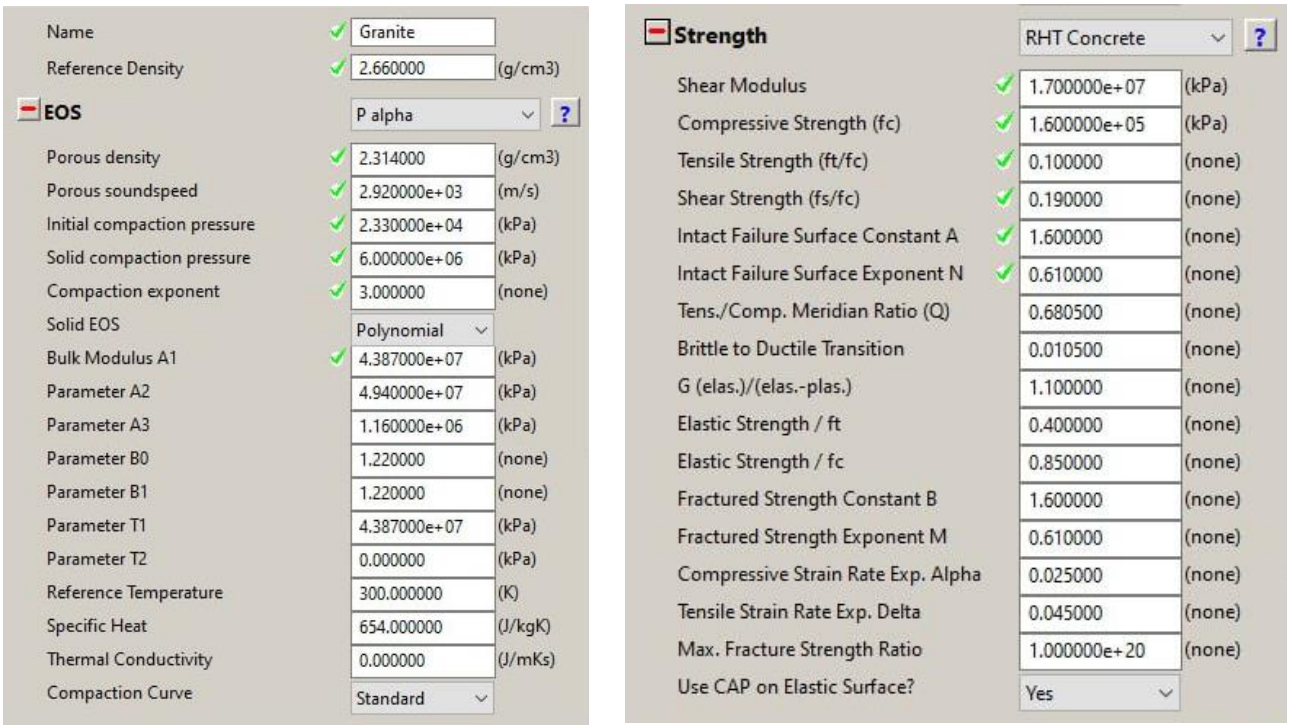


Рис. 1. Фізико-механічні властивості граніту у гірському масиві

Основні технологічні характеристики вибухової речовини Анемікс 70 наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Основні технологічні характеристики вибухової речовини Анемікс 70

№ п/п	Характеристика ВР	Значення
1.	Щільність ВР, кг/м^3	1220
2.	Швидкість детонації, м/с	5000
3.	Температура газів вибуху, ºС	2163
4.	Тротиловий еквівалент по теплоті вибуху	0,73
5.	Теплота вибуху, кДж/кг	3117
6.	Об’єм газів вибуху, л/кг	1004
7.	Кисневий баланс, %	-1,95
8.	Критичний діаметр детонації, мм	90

На рис. 2 наведено значення констант для визначення тиску на фронті детонаційної хвилі, згідно рівняння стану моделі JWL (див. формулу (2)) [11].

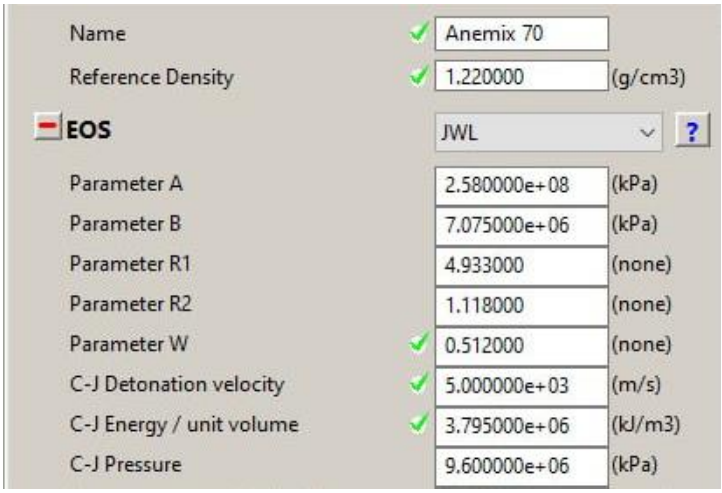


Рис. 2. Константи рівняння стану JWL

Конфігурація модельного середовища та розміщення точок спостереження наведено на рис. 3 [12]. Усі точки спостереження розміщенні на по горизонтальній лінії посередині свердловинного заряду. Точка *1* необхідна для встановлення зміни тиску газів вибуху з часом. Вона розташована на межі між зарядом ВР та гірською породою. Точки *2–10* розміщені через кожні 0,5 м і їх використовують для спостереження за ступенем руйнування скельного масиву.

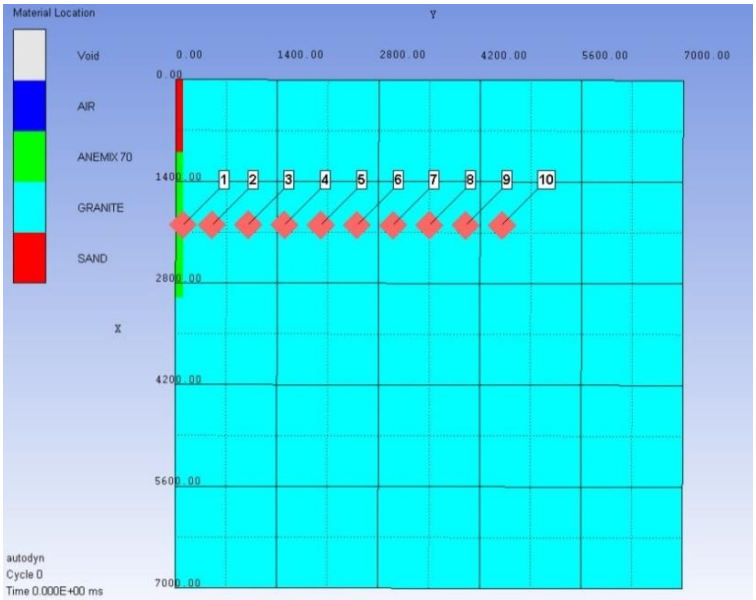
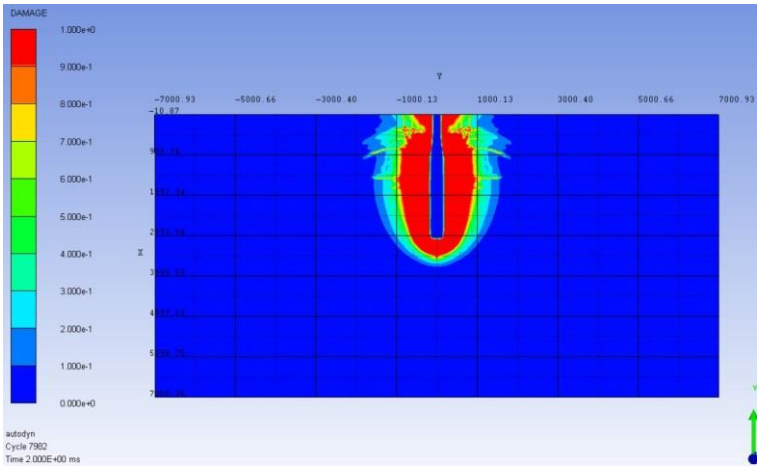


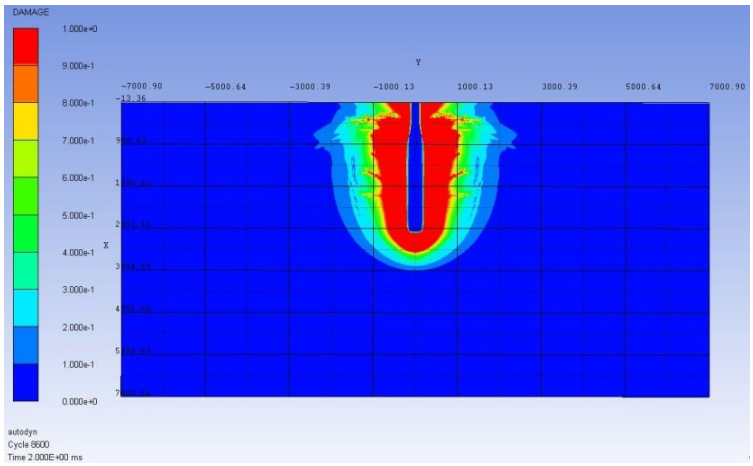
Рис. 3. Конфігурація модельного середовища та місце розміщення точок спостереження

Моделювання вибухового руйнування скельного середовища спочатку було здійснене для граніту з міцністю як у лабораторному зразку, тобто ідеальний стан гірського масиву. А потім розрахунки було проведено для масивів гірських порід різної міцності, що визначається значенням коефіцієнту структурного ослаблення K_c. Чисельні значення K_c змінювалися від 1,0 до 0,1 з інтервалом 0,1. Таким чином, виконано моделювання руйнування середовища вибухом

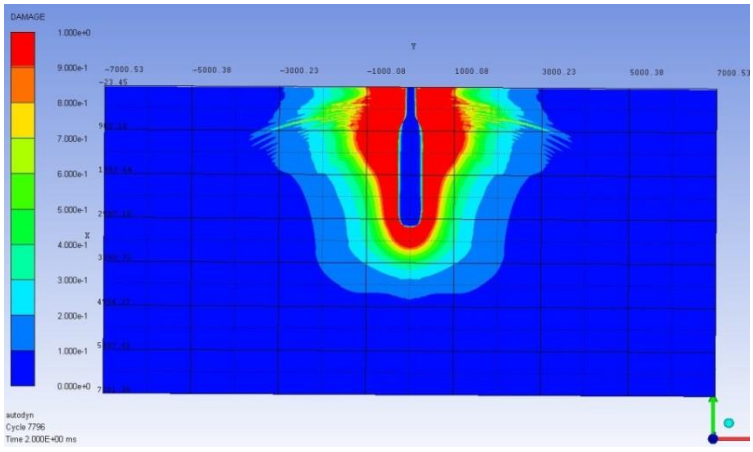
свердловинного заряду ВР для 10 типів гранітного гірського масиву, від ідеально міцного до максимально структурно ослабленого. На рис. 4 наведені характерні епюри руйнувань та тріщиноутворення гірських масивів з показниками коефіцієнтів структурного ослаблення 1,0; 0,5 та 0,1, відповідно.



а



б



в

Рис. 4. Епюри руйнувань гранітного гірського масиву зі значеннями коефіцієнтів структурного ослаблення K_c: *а* – 1,0; *б* – 0,5; *в* – 0,1

Аналіз, наведених на рис. 4, епюр руйнувань показує суттєве (в декілька разів) збільшення зони дроблення максимально структурно ослабленого гірського масиву (рис. 4, *в*) у порівнянні з зоною дроблення гранітів лабораторного зразка (рис. 4, *а*).

На рис. 5 наведена зміна значень тиску ударної хвилі на межі «заряд ВР – масив гірських порід» у часі. Як видно, максимальні значення тиску на фронті ударної хвилі мають невеликий інтервал змін – 1525,4 МПа для K_c=1,0 (тобто для повної міцності) та 1419,2 МПа для K_c=0,1. Також слід відзначити значне зниження активності цього тиску вже після 0,35 мс його дії для усіх гірських масивів. Однак, як свідчать розрахунки в ANSYS AUTODYN, під дією накопичених навантажень в породі та інерції її руху, масив продовжує руйнуватися з подальшим поширенням тріщин, тобто кінетична енергія вибуху заряду вибухової речовини вичерпується тільки через 1,0-1,5 мс (рис. 6). Єдине, що викликає її зміну надалі – це відбиття ударної хвилі від стінок свердловини та забійки.

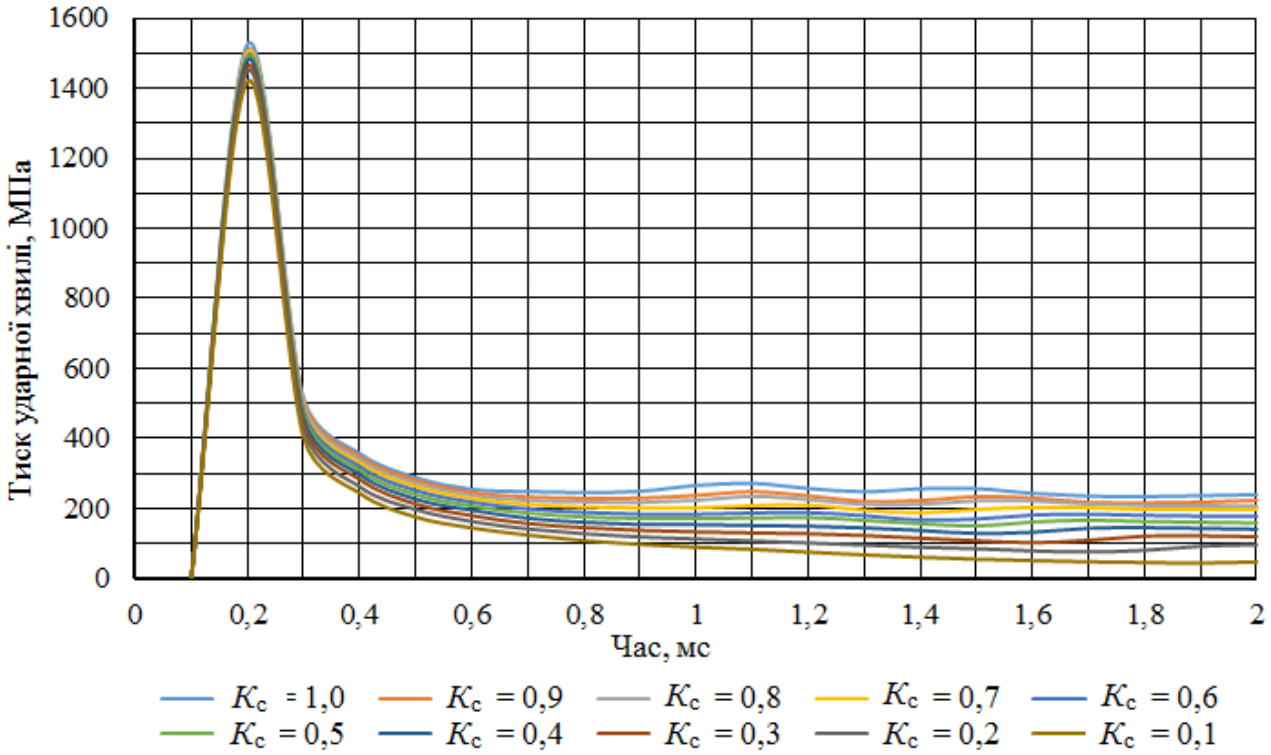


Рис. 5. Значення тиску ударної хвилі на межі «заряд ВР – масив гірських порід»

Аналіз графіків змін кінетичної енергії руху продуктів вибуху у часі (рис. 6) свідчить, що, у порівнянні з зміною тиску ударної хвилі, спостерігається зворотна залежність. Максимальні пікові значення кінетичної енергії спостерігаються для гірського масиву з найбільшим ступенем порушеності, а саме, для масиву з K_c=0,1 кінетична енергія становить 27109,6 ГДж, а для масиву гірських порід з K_c=1,0 вона дорівнює 12164,3 ГДж, тобто відбувається зниження чисельних значень у 2,23 раза.

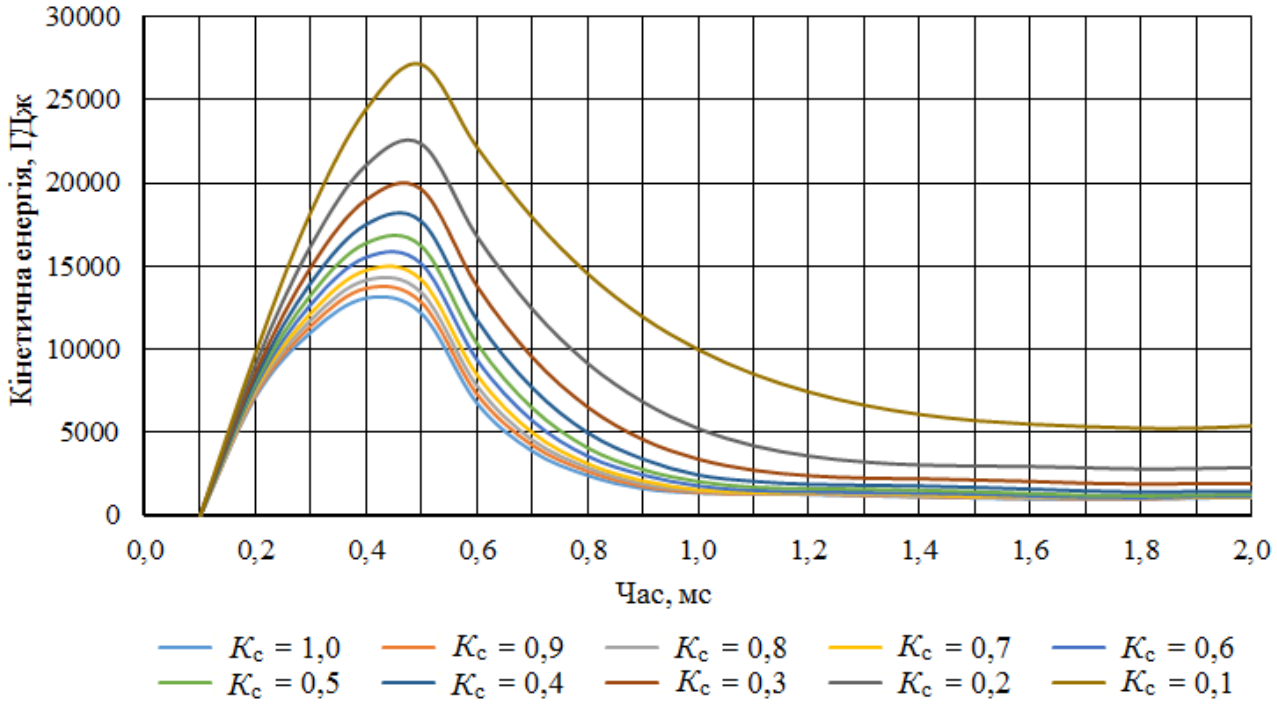


Рис. 6. Зміна кінетичної енергії продуктів вибуху заряду ВР у часі

Об’єм руйнування масиву гірських порід вибухом свердловинного заряду достатньо точно визначено за допомогою програмного забезпечення Blender. Використовуючи результати розрахунків, що отримані в ANSYS AUTODYNE, створені об’ємної фігури обертання воронок руйнування для гірських масивів різної міцності. На рис. 7 представлена воронка руйнування граніту міцністю лабораторного зразка, тобто коли K_c = 1,0. В табл. 2 наведені чисельні значення визначених об’ємів воронок руйнування для гірських масивів з різним ступенем структурного ослаблення.

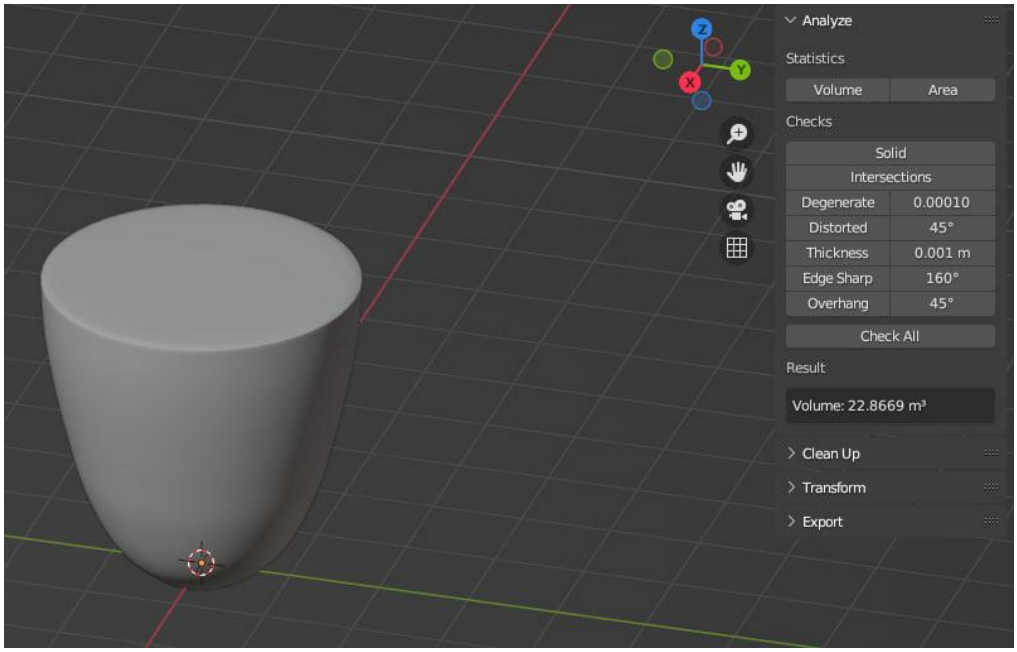


Рис. 7. Воронка руйнування граніту вибухом свердловинного заряду у Blender

Таблиця 2

Об’єми воронок руйнування гірського масиву різної міцності

K_c	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1
V, м^3	22,9	24,9	28,2	32,1	38,2	48,6	61,8	80,1	105,5	136,5

Відповідно до наведених значень табл. 2, побудовано графік залежності об’єму воронки руйнування V від коефіцієнту структурного ослаблення K_c гірського масиву (рис. 8). Як видно з таблиці, об’єм воронки руйнування граніту, з якого складено гірський масив, майже в 6 разів менший за об’єм воронки руйнування максимально структурно ослабленого масиву (K_c = 0,1).

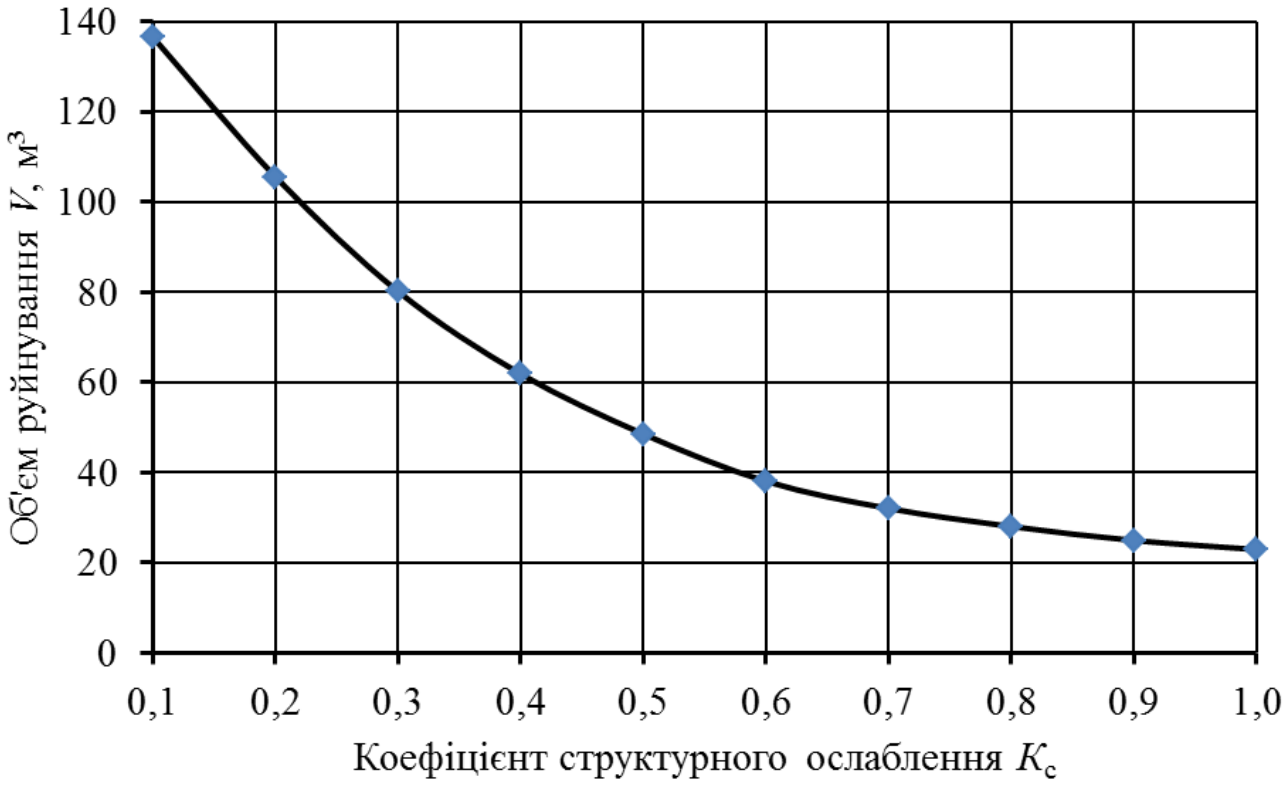


Рис. 8. Залежність об’єму воронки руйнування V від значень коефіцієнту структурного ослаблення K_c гірського масиву

Отриману графічну залежність з високою достовірністю (R^2 = 0,9999) можна апроксимувати поліном 3-ого ступеня:

$$V = 175{,}69 - 149{,}48\,K_c^{\,3} + 429{,}1K_c^{\,2} - 432{,}46K_c, \text{ м}^3. \quad (5)$$

Висновки. Аналіз досліджень і публікацій щодо обґрунтування застосування програмного комплексу ANSYS AUTODYN для чисельного моделювання дії вибуху у твердому середовищі показав, що його безсумнівну ефективність, оскільки він дозволяє відтворити дійсні процеси досліджуваних явищ та прослідкувати поведінку гірських масивів різної міцності на усіх стадіях вибухового навантаження.

Проведене комп'ютерне моделювання вибухового руйнування гірського масиву в ANSYS AUTODYN показали достовірність отриманих результатів (зокрема, форма та параметри воронки руйнування), що підтверджуються даними досліджень науковців минулих років та особистим досвідом авторів.

Виявлено, що активний руйнівний тиск продуктів вибуху діє в гірській породі при даних умовах приблизно протягом 0,35 мс. Надалі, руйнування гірського масиву продовжується до 1,0–1,5 мс під дією накопичених навантажень в породі та інерції руху гірничої маси.

Отримані епюри руйнувань гранітного гірського масиву з різним ступенем структурного ослаблення, за допомогою яких створені об'ємні фігури воронок руйнування та визначені об'єми зазначених воронок V залежно від коефіцієнту структурного ослаблення K_c гірського масиву.

Встановлено, що об'єм воронки руйнування граніту $V = 22{,}9$ м^3, міцність якого приймається як міцність у лабораторному зразку, майже в 6 разів менше за об'єм руйнування максимально структурно ослабленого гранітного гірського масиву $V = 136{,}5$ м^3, тобто коли $K_c = 0{,}1$.

Представлена графічна залежність об'єму воронки руйнування від коефіцієнту структурного ослаблення для зазначених умов моделювання апроксимується, з високим ступенем достовірності, поліном 3-го ступеня.

Представлені результати моделювання дії вибуху циліндричного заряду ВР у скельному середовищі в ANSYS AUTODYN дозволяють продовжити виконання досліджень у напрямку оптимізації параметрів буропідривних робіт з відбійки порід як на підприємствах відкритої та підземної розробки корисних копалин, так і при будівництві підземних споруд загального та спеціального призначення (нафто- та газосховища, резервуари води, підземні транспортні комунікації тощо) у гірських масивах різної міцності.

Перелік посилань

1. Шашенко, О.М. , Сдвижкова, О.О. & Гапєєв, С.М. (2008). *Деформованість та міцність масивів гірських порід: монографія*. Дніпропетровськ: Національний гірничий університет.
2. Бельтек, М.І., Євпак, Н.А. & Фролов, О.О. (2022). Аналіз факторів, що впливають на міцність тріщинуватого гірського масиву. *Тези Всеукраїнської науково-практичної online-конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених, присвяченої Дню науки*, Житомирська політехніка, 129–130. https://conf.ztu.edu.ua/wp-content/uploads/2022/06/7-1.pdf
3. Ковров, О.С. & Терещук, Р.М. (2020). Аналіз підходів щодо визначення міцнісних характеристик гірських порід для прогнозу зсувонебезпечності укосів, *Науково-технічний журнал «Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві», 1*, 63–72. https://doi.org/10.31649/2311-1429.2020-1-63-72
4. Бельтек, М.І. & Фролов, О.О. (2023). Встановлення впливу ступеня тріщинуватості гірського масиву на показник зниження його міцності. *Збірник наукових праць НГУ, 74*, 7–19. https://doi.org/10.33271/crpnmu/74.007
5. Кулинич, В.Д., Шаповал, О.О., Драгобецький, В.В., Воробйов, В.В., Шлик, С.В. Пєєва, І.Е., Аргат, Р.Г., & Воробйова, Л.Д. (2022). *Технологія вибухового руйнування середовища шляхом зміни механічних властивостей в ближній зоні вибуху: монографія.* Кременчук: НОВАБУК.
6. *Сайт компанії ANSYS,* Inc. (n.d.). https://www.ansys.com.
7. Faserova, D. (2006). *Numerical Analyses of Buried Mine Explosions with Emphasis on Effect of Soil Properties on Loading: PhD Thesis*. UK: Cranfield University.

8. Vorobyov, V., Pomazan, M., Shlyk, S. & Vorobyova, L. (2017). Simulation of dynamic fracture of the borehole bottom taking into consideration stress concentrator. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 3*(1(87)), 53–62. https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.101444
9. Бельтек, М.І., Євпак, Н.А., & Фролов, О.О. (2024). Моделювання дії вибуху свердловинного заряду в природно порушеному тріщинуватому масиві в середовищі Ansys. *Тези Всеукраїнської науково-практичної онлайн-конференції аспірантів, молодих учених та студентів, присвяченої Дню науки*, Житомирська політехніка, 147–148. https://conf.ztu.edu.ua/wp-content/uploads/2024/06/sekcija-7.pdf
10. *ANSYS Autodyn User's Manual* (2013). Release 15.0, Southpointe, Canonsburg.
11. Hansson, H. (2009). Determination of properties for emulsion explosives using cylinder expansion tests and FEM simulation. *Swebrec Report 2009:1*, Stockholm.
12. Beltek, M.I., & Evpak, N.A. (2024). Results of modeling the explosion of a borehole charge in a fractured rock massif in ANSYS AUTODYN. *Збірник наукових праць XVI науково-технічної конференції «ЕНЕРГЕТИКА. ЕКОЛОГІЯ. ЛЮДИНА»*, КПІ ім. Ігоря Сікорського, 124–128. https://en.iee.kpi.ua/files/2024/dopovidi2024.pdf

ABSTRACT

Purpose. The purpose of research of the presented article is to identify the regularities of the explosion action in the massifs of different strength when modeling the process of rock fracture in the software environment ANSYS AUTODYN for given technological conditions.

The methods. The complex methodical approach was used, which consists in the analysis of previous results of scientific research on modeling the action of the explosion in ANSYS AUTODYN, comparative analysis of the obtained data on computer numerical simulation, graph-analytical establishment of the relationship between the volume of the explosive destruction funnel and the coefficient of structural weakening of the rock massif.

Findings. Computer modeling of explosive fracture of rock massif in ANSYS AUTODYN showed the reliability of the results obtained, which are confirmed by the research data of scientists and personal experience of the authors. It is established that the duration of active destructive pressure of explosion products in the rock under these conditions is about 0,35 ms. Further destruction of the rock massif is carried out under the action of accumulated loads in the rock and inertia of the rock mass movement up to 1,0...1,5 ms depending on the strength of the rock massif.
Images of rock mass fractures with different degrees of structural weakening were obtained, with the help of which volumetric figures of fracture funnels were created and their volumes were determined. It is established, that the volume of a funnel of destruction of granite which strength is accepted as strength in a laboratory sample, almost in 6 times less than volume of destruction of maximally structurally weakened granite rock massif.

The originality. The graphical and analytical dependences of the destruction funnel volume on the structural weakening coefficient in rock massifs of different strength for the given modeling conditions have been established.

Practical implementation. The results of modeling the action of blast of cylindrical explosive charge in rock massif allow to optimize the parameters of drilling and blasting operations at mining enterprises for extraction of minerals, as well as during construction of underground structures for general and special purposes in massifs of different strength.

Keywords: *rock massif , structural weakening coefficient, numerical modeling, ANSYS AUTODYN, strength model, borehole charge, explosive, picture of destruction, destruction funnel volume.*