

Для предотвращения такого негативного развития геомеханической ситуации, рекомендуется использовать при строительстве и отсыпке отвала «Западный» технологию формирования вертикальных дрен из скальных пород, разработанную в ООО «МИ-ЦЕНТР».

Она предусматривает размещение в основании отвала закрытых водоотводящих канав, отсыпку в основании отвала подступа из скальных пород и формирование в пределах каждого отвального яруса, над горизонтальной проекцией трассы водоотводящих канав, полосы из скальной вскрыши.

Список литературы

1. **Ткаченко Г.І.** Фізико-математична модель утворення поверхні зсуву в зовнішніх відвалах залізрудних кар'єрів / Вісник Криворізького технічного університету, 2011. – Кривий Ріг Ріг: КТУ. - Вип. 28. - С. 65-70.
2. **Ткаченко Г.І., Болотников А.В.** Оцінка стійкості східного борта Глеєватського кар'єра №1 в зоні його підроблення підземними гірничими роботами Вісник Криворізького технічного університету, 2012. - Кривий Ріг: КНУ.- Вип. 30.- С. 34-39.
3. Геомеханическое обоснование параметров отвала «Западный» и его влияние на устойчивость западного борта карьера № 4 ПАО «ЦГОК»/ отчет по НИР/ рук. **Несмашный Е.А.**/ КП «Академический дом» АГН Украины. Кривой Рог. – 2011
4. Обоснование безопасных геомеханических параметров карьера №4 и его отвалов (разработка рекомендаций по обеспечению устойчивости бортов и уступов отвалов и карьера): Отчет о НИР/ Академия горных наук Украины, КП «Академический дом»; рук. работы **Е.А. Несмашный.** - Кривой Рог, 2014.- 142 с.
5. Строительство и отсыпка 1-й очереди автомобильного отвала «Западный» на карьере №4 ПАО «ЦГОК» / Проект // ООО «МИ-ЦЕНТР», Кривой Рог - 2012.
6. Геолого-економічна переоцінка Артемівського родовища залізистих кварцитів // Звіт по НДР // Кер. проф. **Плотников А.В.** // Кривий Ріг, 2009.
7. Строительство и отсыпка 1 очереди автомобильного отвала «Западный» на карьере № 4 Артемовского месторождения /Рабочий проект. Инженерно-геологические изыскания // ГП «УкрНИПИИпромтехнологии» Желтые Воды, 2011.
8. Методичні вказівки з визначення оптимальних кутів нахилу бортів, укосів уступів і відвалів залізрудних та флюсових кар'єрів // Під ред. проф. **А.Г. Шапаря** // -К: - 2009. – 201 с.
9. **Голуб В. В., Полищук С. З., Ветвицкий И. Л.** Новые подходы к оценке устойчивости откосов и склонов: теория и практика / Днепропетровск: ЧМП «Экономика», 2011. - 172 с.
10. **Ткаченко Г.І., Максимов О.В.** Моделювання поверхонь сковзання для оцінки стану стійкості багатоярусних зовнішніх відвалів / Вісник Криворізького технічного університету, 2008. – Кривий Ріг Ріг: КТУ. - Вип. 8. - С.7-11.
11. Комп'ютерна програма для оцінки і розрахунку стійкості укосів бортів кар'єрів і ярусів відвалів «KUSTO»: Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір. Україна, МСП 03680 / **Є.Я. Бехлер Є.Я., О.В. Максимов, Є.О. Несмашний, О.В. Романенко, Г.І. Ткаченко.** - № 18720; Зареєстр.22.11.06.
12. Комп'ютерна програма «Комплекс комп'ютерних програм «РЕПЕР»: Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір. Україна, МОНУ / **Є.Я. Бехлер, А.В. Болотников, Є.О. Несмашний, О.В. Максимов, Г.І. Ткаченко.** – № 39943; Зареєстр. 02.09.11.

Рукопись поступила в редакцию 25.03.16

УДК 622.235: 622.271

А.А. СКАЧКОВ, інженер, С.О. ЖУКОВ, д-р техн. наук, проф.
Криворізький національний університет

ФОРМУВАННЯ НАПРУЖЕНОГО СТАНУ ПРИКОНТУРНОЇ ЗОНИ УСТУПУ

Статтю присвячено вирішенню актуальної проблеми – зниження питомої витрати вибухових речовин на підрибнення гірських порід шляхом зміни порядку виконання підрибних робіт, коли блок утворено парним числом рядів свердловин, крім того, у всіх непарних рядах вагові заряди формуються відповідно до значень нормального енергонасичення, а в парних – навантаження знижується на 30-45% і починається ініціювання вибуху зі зменшеного заряду в другому ряді, після чого – ініціювання з затримкою найближчого повного заряду в першому, після чого в процес втягується наступна пара: зменшений заряд у другому ряду – повний заряд в першому, поки всі заряди не підірвуться в перших двох рядах; Потім ініціюються заряди з наступної пари рядів: від зменшеного заряду в четвертому ряді – до повного заряду в третьому, і так до тих пір, поки не закінчиться підрибнення всього блоку. Якщо потрібно, число пар рядів може бути збільшено. Це супроводжується зниженням на 15-20% маси вибухових речовин. У разі підрибнення більш високих уступів з'являється додатковий ряд зі зменшеними зарядами, розташованими між двома головними рядами, але ближче до переднього, і вони вибухають по черзі в групі: починаючи зі зменшеного в другому ряді, і закінчуючи – через затримку зменшеним в додатковому ряді – повним зарядом в першому ряді, поки вибухи не закінчаться в цих трьох рядах; Заряди в четвертій і третій парах рядів послідовно спрацьовують в глибині блоку.

При цьому враховується анізотропія масиву гірських порід.

Ключові слова: гірська порода, диференційована вибухова енергетична насиченість, взаємодія зарядів, запізнення, анізотропія, хвилевід.

Постановка проблеми. Традиційні методи ведення вибухових робіт в кар'єрах об'єднує те, що уступ гірських порід найбільш нерівномірно руйнується в зоні, прилеглої до укосу, в результаті чого утворюється гірнична маса з найбільш неоднорідною кускуватістю [1]. Винятково складний напружено-деформований стан породного масиву в цій частині при взаємодії свердловинних зарядів, що підриваються в першому і другому рядах, є однією з головних причин неконтрольованого виходу негабаритної фракції при виконанні вибухових робіт, що негативно позначається на техніко-економічних показниках всього гірничодобувного виробництва, тому пошук шляхів вирішення даного завдання є *вельми актуальним* [2-3], так як у свою чергу сприяє *вирішенню проблеми* підвищення ефективності буропідричних робіт.

Як показує *аналіз останніх досліджень* з теорії вибухового руйнування кристалічних масивів і практики БВР, одним з *найменш досліджених теоретично і невирішених практично питань* є нерівномірний вплив на формування вибухом навантаження крайової частини уступу, оптимізувати що є можливим при цілеспрямованому використанні ефектів розвитку динамічної зони руйнування, створюваної силовими полями взаємодіючих зарядів ВР приконтурних рядів [4-6]. У зв'язку з цим в *дослідження закладалася ідея* можливості цільового використання динамічних ефектів, що проявляються при взаємодії свердловинних зарядів, для вирішення чого задачі досліджень формулювалися згідно з нею, а саме: заряди першого ряду свердловин ініціюються після підривання зарядів другого, утворюючи завдяки сприятливій суперпозиції вибухових хвиль більш оптимальну динамічну зону відповідно до конкретних умов.

Викладення матеріалу досліджень. Основою для задекларованих досліджень є вивчення властивостей гірських порід, в яких намічено випробування методу їх диференційованого енергонасичення. До наявної інформації необхідно додати дані про параметри розташування зарядів на уступі в досліджуваних породах, які розраховували за наступною методикою.

Значення ЛОПП (W_1) перед першим рядом свердловин розраховували за формулою $W_1 = H_y \cdot \text{ctg} \alpha + 3$, м, де H_y - висота уступу, м, приймалась згідно умов виконання робіт у кар'єрах: 10 і 15 м; α - кут укосу уступу, град. приймали фактично сформовані на виробництві паспортні значення, або ж $\alpha = 67^\circ$, який часто зустрічається на практиці.

Розміри квадратної сітки розташування свердловин в рядах вибухового блоку визначалися за наступною формулою, м

$$W_2 = (1,38 - 0,11 \cdot \ln f) \cdot d_{\text{св}} \cdot \sqrt{\Delta Q_{\text{вп}} / f},$$

де f - коефіцієнт міцності гірських порід; $d_{\text{св}}$ - діаметр свердловин, м (для умов експерименту - 0,253 м); Δ - щільність заряджання $\text{кг}/\text{м}^3$, для умов застосування: Анеміксу-70, $\Delta = 1220 \text{ кг}/\text{м}^3$; Грануліту КМ - $\Delta = 950 \text{ кг}/\text{м}^3$; Емоніту Н - $\Delta = 1230 \text{ кг}/\text{м}^3$; $Q_{\text{вп}}$ - енергія вибуху; Анеміксу-70 $Q_{\text{вп}} = 3117 \text{ кДж}/\text{кг}$; Грануліту КМ - $Q_{\text{вп}} = 3650 \text{ кДж}/\text{кг}$; Емоніту Н - $Q_{\text{вп}} = 3100 \text{ кДж}/\text{кг}$.

Значення питомої витрати ВР, місткості 1 м свердловини, відстані між зарядами у першому ряду, відповідно, розраховано за формулами

$$q = (0,06 \cdot f + 10,8) \cdot \sqrt[4]{\frac{\Delta \cdot f^3}{Q_{\text{вп}}^3}}, \text{ кг}/\text{м}^3; \quad p = \frac{\pi \cdot d_{\text{св}}^2}{4} \cdot \Delta, \text{ кг}/\text{м}; \quad a_1 = \frac{W_2^2 \cdot H_y}{W_1}, \text{ м}.$$

У сильно вивітрілих окислених рудах з коефіцієнтом міцності $f = 6$, свердловини - сухі, в них застосовують неводостійку ВР Грануліт КМ зі щільністю заряджання $850 \text{ кг}/\text{м}^3$ і теплотою вибуху $3650 \text{ кДж}/\text{кг}$. Для цієї безтритилової ВР, як і для всіх ВР групи ігданітів, характерною є не ідеальність процесу детонації, яка протікає в зарядах $\varnothing 0,25$ м зі швидкістю 3500 мс, за умов теоретичних її значень 4896 мс, а тому ступінь завершеності реакцій у детонаційній хвилі складає 0,45. За цих умов сітка свердловин становить 7×7 м, питома витрата ВР - $0,54 \text{ кг}/\text{м}^3$ (табл. 1).

Таблиця 1

Розрахункові параметри розташування зарядів ВР на уступі висотою 10 м

f	W_1 , м	W_2 , м	q , $\text{кг}/\text{м}^3$	Маса заряду в 1-му ряду, кг	Перебур, м	Довжина заряду, м		Довжина забивки, м	
						у 1-му ряду	у 2-му ряду	у 1-му ряду	у 2-му ряду
6	7	7	0,54	260	1,0	6,0	3,5	5,0	7,5
10	7	6,5	0,737	330	2,0	7,7	4,0	4,3	8,0
14	7	6,3	1,1935	485	2,5	7,8	4,9	4,1	7,6

У більш міцних породах з $f=10$ параметри розташування зарядів розраховано для умов застосування Грануліту КМ в умовах сухих свердловин. У породах Першотравневого кар'єру ПівніГЗК з $f=14$ параметри розраховано для умов застосування емульсійної ВР Емоніт-Н.

До параметрів гірських порід необхідно додати параметри хвилі вибухової і хвилі деформацій. Відносно параметрів хвилі вибухової, то вони встановлювались, а стосовно вимірювання хвилі деформацій а було використано дослідження вчених зі США [7] і метод аналогій, згідно якого, знаючи параметри хвиль деформацій для чотирьох типів гірських порід, були розраховані параметри хвиль деформацій для трьох типів, в яких виконувались дослідження. Правомірність такого кроку підтверджується характером хвиль вибухової і деформацій, а саме те, що в межах воронки подрібнення заряду ВР вони мають асиметричну форму. Цей факт означає, що задекларована необхідність уникати суперпозиції хвиль від близько розташованих зарядів, а також між хвилями – прямою і створеною нею відбитою, стосується перш за все головних частин хвиль, які несуть високі енергії. Якщо ж буде підривання заряду наступної серії в той момент, коли в цій зоні буде перебувати згасаюча частина хвилі відбитої, сформованої від заряду попередньої серії, то це не завдасть великої шкоди від такої суперпозиції. Нами, в результаті використання методу аналогій надано діапазони ефективних значень інтервалів сповільнення.

Аналіз рис. 1 свідчить, що максимальні деформації, а значить і напруження, зареєстровані датчиками на відстані 600 см від зарядів, є в 4,5-8 разів меншими, ніж на відстані 120 см, а в згасаючій частині хвилі, на відстані $\frac{1}{3}$ загальної її довжини, ці деформації ще в 4-5 разів меншими.

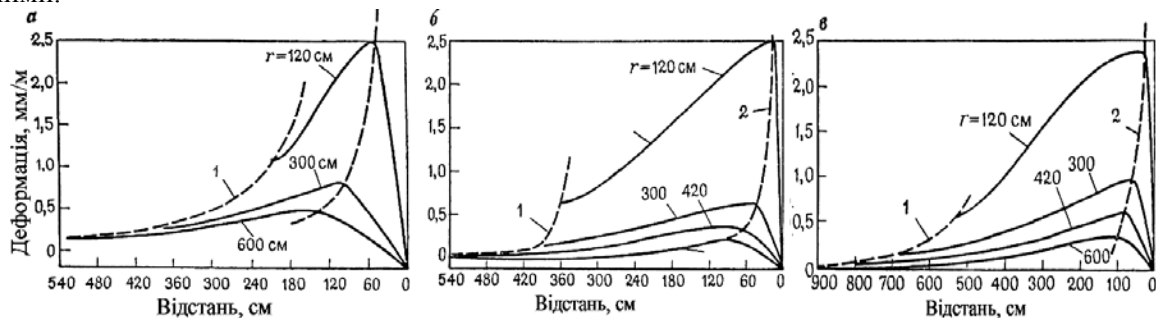


Рис. 1. Залежності: відносна деформація – відстань; а – у мергелі; б – у піщанику із 20 % пористістю; в – у крейді; 1 і 2 – геометричні місця точок, відповідно E_{\min} і E_{\max}

6 м (600 см) і близькі до цього значення переважно зустрічаються в мережах свердловин на кар'єрах Кривбасу. У цьому плані запропоноване вперше технічне рішення про першочергове підривання зарядів, розташованих у другому ряді, до того ж масою, зменшеною на 40-50%, формує відстань до вільної поверхні покрівлі уступу 7,5-8,0 м (для уступів висотою 10 м), а до укосу - 13,3-14,0 м. Для уступів висотою 15 м ці параметри будуть ще більшими. В наведених випадках пряма хвиля до вільних поверхонь підходить ослабленою, відповідно, ще більше ослабленою матимемо хвилю відбиту. Отримуємо досить простий і ефективний спосіб керування суперпозицією хвиль напруження і знешкодження магістральних тріщин. Нижче в табл. 2 наведено параметри хвиль в трьох типах порід.

Таблиця 2

Параметри хвиль в досліджуваних гірських породах			
Характеристики	Значення параметрів		
Коефіцієнт міцності	14	10	6
Швидкість сейсмічної (акустичної) хвилі, км/с	4,26	3,89	1,3
Швидкість головної частини хвилі деформацій (E_{\max}), км/с	4,0	3,5	1,0
Швидкість кінцевої частини хвилі деформацій (E_{\min}), км/с	3,7	3,1	0,7

Для розрахунку інтервалів сповільнення складаємо табл. 3.

Таблиця 3

Інформація до розрахунку і розрахунків інтервалів сповільнення										
Ефективний час сповільнення, т, мс	f	Відстань до вільної поверхні, м	V_1 , км/с	t_1 , мс	Відстань руху відбитої хвилі до нижнього торця заряду r , м	Довжина відбитої хвилі, м	Загальна довжина, м	V_2 , км/с	t_2 , м/с	$t_{\text{заг}}$, м/с
40-75	6	7,5	1,3	5,77	13,75	15	28,75	1,3	22,1	27,87
10-30	10	8,0	3,89	2,06	13,5	10	23,5	3,1	7,58	9,64
8-25	14	7,6	4,26	1,78	13,5	8	21,5	3,7	5,88	7,66

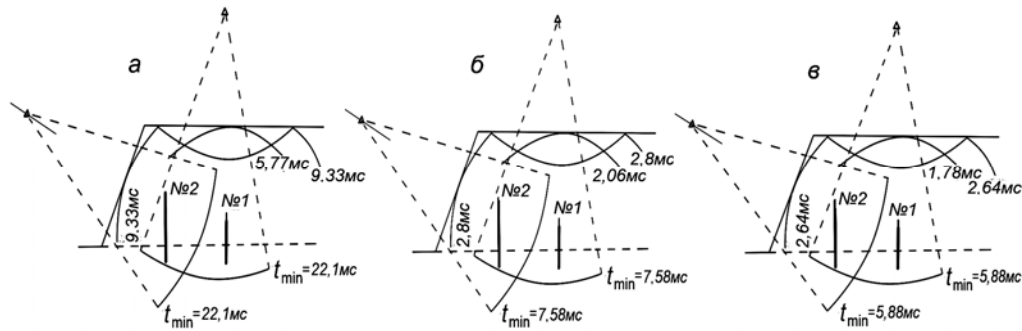


Рис. 2. Схема переміщення прямої хвилі від спрацювання заряду №1: *a* – в окислених вивітрілих рудах ($f=6$); *b* – в породі, міцністю $f=10$; *c* – в породі, міцністю $f=14$; на момент часу: *a* – 5,77 мс, *b* – 2,06 мс, *c* – 1,78 мс – підходу прямої хвилі до покрівлі уступу; *a* – 9,33 мс, *b* – 2,80 мс, *c* – 2,64 мс – підходу її до поверхні укосу уступу; а також *a* – 22,1 мс, *b* – 7,58 мс, *c* – 5,88 мс – виходу завершальних частин хвиль деформацій, віддзеркалених від вільних поверхонь за межі розташування заряду №2. Загальний час: *a* – 5,770 мс+22,1мс=27,87мс, *b* – 2,06+7,58=9,64 мс, *c* – 1,78+5,88=7,66 мс. Ефективний час сповільнення: *a* – 40-75мс, *b* – 10,0-30мс, *c* – 8-25мс.

На рис. 2 зображено положення хвиль, відповідне табл. 3, в перерізі уступу. В першу чергу пряма хвиля досягає покрівлі уступу, до якої відстань від заряду №1 – мінімальна. З невеликим запізненням ця хвиля досягає поверхні укосу, а в районі покрівлі на той час – уже сформована відбита хвиля. На рисунках зображено головну її частину, яка вже рухається вглиб уступу. Через деякий час ця головна частина хвилі деформацій, що іде повільніше, з деяким запізненням, досягає торця заряду №2, який чекає імпульсу на спрацювання. Цей момент на рисунках не зображено, оскільки вважаємо, що повз заряд №2 повинно пройти все тіло хвилі до завершальної її частини – мінімальних деформацій E_{\min} . Бачимо також, що на цей момент відображена від укосу уступу пряма хвиля, разом зі сформованою нею хвилею деформацій, раніше пройшли повз заряд №2, оскільки він до укосу розташований ближче. Саме тому, загальний час розраховується проходженням хвиль до покрівлі і відбитих від неї до торця заряду №2. Занотований у табл. 9 ефективний час сповільнення для порід різної міцності може включати також можливу варіацію спрацювання піротехніки, яка реалізує сповільнення під час вибуху.

Все описане набуло реалізації в породах міцністю $f=6; 10; 14$, для уступів висотою 10 м. Окрім зазначеного, технологію вибухових робіт захищено патентом України № 70655.

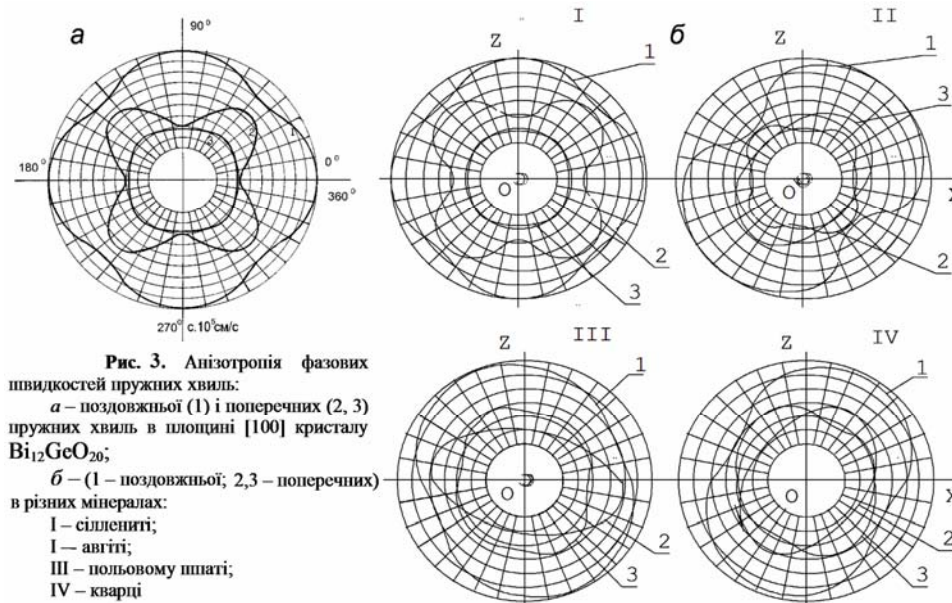
Наведена вище методика може бути застосованою в породах, які мають практично ізотропні властивості, що в реальних умовах зустрічається у виняткових випадках, так як практично всі реальні гірські породи мають в тій чи іншій мірі виражену, анізотропію фізико-механічних властивостей [8,9]. Крім того, при значних відмінностях фізичних характеристик породи в окремих масиву і матеріалі, що заповнює макротріщини, на поширення хвиль в різних напрямках навколо свердловинного заряду істотно впливає анізотропія масиву, обумовлена його системною макротріщинуватістю. Внаслідок цього розміри і форма контурів зон руйнувань навколо зарядів повинні визначатися з урахуванням цих особливостей.

У зв'язку з тим, що скельні породи, особливо вулканічного генезису, мають в більшій чи меншій мірі виражену кристалічну структуру, їм властиві основні особливості монокристалічних середовищ, у тому числі й акустичні. Ця обставина має виняткове значення при вивченні хвильових процесів, що супроводжують підірвання зарядів бризантних ВВ.

Анізотропія пружних властивостей кристалів ускладнює закони відбивання і заломлення хвиль стиснення на межах розділу середовищ: падаюча хвиля при віддзеркаленні і заломленні може розщеплюватися на кілька хвиль різних типів. Згасання хвиль в кристалічних середовищах визначається розсіюванням на мікродфектах і дислокаціях, поглинанням, пов'язаним з дисипативними явищами. Однак, у цілому закономірності поширення хвиль – добре відомі.

При аналізі поширення хвиль стиснення від вибуху свердловинного заряду необхідно розглядати два різних процеси: поширення хвилі в монолітній породі: до перетину нею тріщин і зміну характеру її поширення при проходженні через тріщини. Найбільш наочно ілюструє перший етап розповсюдження хвилі випадок, коли вона поширюється в монолітній мономінеральній породі. На рис. 3а видно, що в кристалі $\text{Vl}_{12}\text{GeO}_{20}$ поздовжні хвилі мають найбільші фазові швидкості в напрямках, які збігаються з напрямками осей симетрії кристалів, і мінімальні – в напрямках, орієнтованих під кутом 45° до цих осей. У полімінеральних гірських породах карти-

на поширення хвиль значно ускладнюється, однак загальні закономірності зберігаються ті ж (рис. 3б).



Анізотропія пружних властивостей кристалічних середовищ найбільш суттєво позначається на характері поширення хвиль стиснення, що розповсюджуються від підірваного заряду ВР. У таких породах, на відміну від ізотропних тіл, у кожному напрямі розповсюджуються три хвилі: поздовжня і дві поперечні. Кожна з них має свою фазову швидкість, яка залежить від напрямку поширення хвилі, тобто від кута між вектором хвилі й акустичною віссю середовища. У ряді напрямів, відповідних осям симетрії вищого порядку, швидкості двох поперечних хвиль можуть збігатися. У цих напрямках і орієнтуються акустичні осі. В таких напрямках стає можливим поширення поперечних хвиль з довільною поляризацією, як в ізотропному тілі. Характерно, що, навіть при поширенні хвиль уздовж напрямів осей вищого порядку симетрії, потік енергії для зсувних хвиль може відхилитися від напрямку поширення хвилі, причому напрям вектора потоку енергії залежить від поляризації хвилі. Що стосується найбільш руйнівних – поздовжніх хвиль, то з кристалоакустики [8,9] відомо, що вони поширюються в кристалічних середовищах з різною швидкістю в напрямках, по-різному орієнтованих відносно осей кристалів, маючи найчастіше максимальні значення в напрямках, які збігаються з цими осями і мінімальні – в напрямках бісектрис між осями (рис. 4).

Для конкретного визначення конфігурації зон рівнонапруженого стану в тріщинуватих масивах, наприклад, ізоліній напружень або кругової векторної діаграми швидкостей фронту пружної хвилі, необхідно проаналізувати зміну швидкості поширення хвиль в масиві щодо орієнтації кристалоутворюючих осей породи і тріщинуватості масиву, а також процеси заломлення і відбивання при проходженні хвилі через тріщини [10].

Як відомо, кут, під яким хвиля відбивається від поверхні, що розділяє два середовища з різною акустичною провідністю, дорівнює куту її падіння, а кут, під яким хвиля, заломлюючись, поширюється вглиб масиву, завжди відрізняється від кута падіння, крім випадку нормального перетину межі розділу середовищ, при якому напрям поширення падаючого променя і зламано-го збігаються. При відхиленні падаючого променя від нормалі, тобто при значеннях кутів, що зменшуються від 90° , у випадку відхилення переломлений промінь відхиляється значно сильніше і при певному значенні кута падіння, в залежності від властивостей середовищ, настає момент, коли напрям переломленого променя збігається з лінією поділу середовищ. Причому, спочатку це явище спостерігається для поздовжньої хвилі (при куті внутрішнього відбивання поздовжніх хвиль), а потім, при подальшій зміні кута падіння хвилі настає момент внутрішнього відбивання і поперечної хвилі, коли і її напрям збігається з напрямом лінії розділу середовищ. Цей кут називається кутом повного внутрішнього відбивання і при досягненні його вся енергія падаючої хвилі концентрується й орієнтується в напрямі вздовж шару породи. При цьому відбувається тільки відбивання хвиль від зустрічних поверхонь розділу, тобто тріщин.

Таким чином, утворюється свого роду хвилевід, за яким поширюється хвиля. Поширення хвилі по шару породи супроводжується тим, що багаторазово відбиті від поверхонь розділу середовищ хвилі, що проходять по ламаній траєкторії великі відстані в порівнянні з фронтом хвилі, що йде по шару прямолінійно, взаємодіють між собою, інтерферують і інтервал часу імпульсу хвилі збільшується, хоч напрям поширення хвилі в цілому зберігається.

Отже, очевидно, що, в найпростіших випадках, при розкритих тріщинах, максимальним вплив на масив порід від заряду ВР, розміщеного і підірваного в ньому, буде в напрямках, перпендикулярних до його тріщинуватості й уздовж шаруватості і поступово, при відхиленнях від цих напрямів, буде знижуватися до мінімуму, який відповідає куту повного внутрішнього відбивання породи (рис. 4). Знаючи ці кути і закон поширення фронту хвилі, а також параметри заряду ВВ, можна побудувати годографи поздовжніх і поперечних хвиль, а також ізолінії рівних значень різних параметрів розповсюдження інших хвиль.

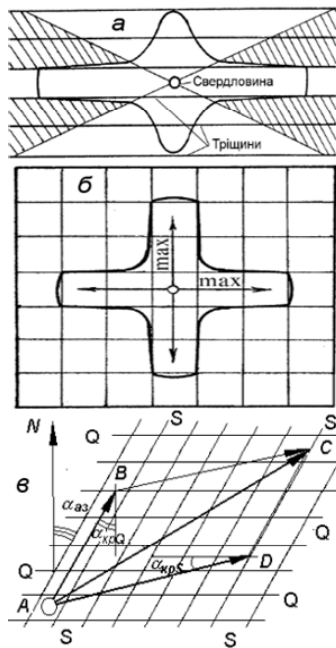


Рис. 4. Характер епіок напружень у фронті хвилі: *a* – що розповсюджується в шаруватій породі (заштриховано сектори мінімальних руйнувань), *б* – в блокувій (стрілками вказано напрями максимальних впливів хвилі на масив гірських порід); *в* – схема до визначення орієнтації рядів свердловин відносно макротріщин

На підставі наведеного аналізу можна, в найпростіших випадках, досить впевнено рекомендувати орієнтацію сітки вибухових свердловин щодо тріщинуватості масиву і відповідним чином керувати процесом вибуху та його результатами. При цьому, при прямокутній сітці свердловин за рівних інших параметрів, максимально рівномірне дроблення породи буде досягатися при діагональному орієнтуванні її відносно тріщин – і навпаки.

Точні обчислення контурів – надзвичайно складні навіть для ідеалізованих моделей, а в застосуванні до реальних мінеральних середовищ, тим більше полімінеральних, які мають складну структуру, як, наприклад, тріщинуваті гранітоїдні породи, – взагалі неможливі. У зв'язку з цим пропонується наступний метод наближених обчислень, точність якого для інженерних розрахунків є цілком достатньою.

Як показали аналітичні дослідження, при субортогональній орієнтації систем крутоспадаючих тріщин, контур досліджуваної зони матиме форму, характерну для циклоїдних кривих. Найбільш відповідною з відомих кривих цього сімейства є різновид трохоїда-гіпотрохоїда, параметричні рівняння якої мають вигляд

$$x = (R - mR) \cos mt + h \cos(t - mt), \quad (1)$$

$$y = (R - mR) \sin mt - h \sin(t - mt), \quad (2)$$

де R - радіус нерухомого кола; $m = R/r$ - модуль трохоїди; r - радіус рухомого кола; h - відстань від оконтурюючої точки до центра рухомого кола.

У даному випадку R відповідає R_{\max} - максимальному значенню R_{mp} у напрямі концентрації енергії, яка розходить навколо заряду. Означимо R_{\min} - максимальне значення R_{mp} в напрямі мінімального розповсюдження енергії навколо заряду.

Вважаємо, що гіпотрохоїда є епіциклоїдою. Тоді $h = r$ і йому відповідає $(R_{\max} - R_{\min})/2$, а m відповідає $2R_{\max}/(R_{\max} - R_{\min})$. Означимо $(R_{\max} - R_{\min})/2$ через $h_{з.мп.}$, а $2R_{\max}/(R_{\max} - R_{\min})$ через $m_{з.мп.}$. Тоді параметричні рівняння (1), (2) набувають вигляду

$$x_{mp} = (R_{\max} - m_{з.мп.} R_{\max}) \cos m_{з.мп.} t + h_{з.мп.} \cos(t - m_{з.мп.} t), \quad (3)$$

$$y_{mp} = (R_{\max} - m_{з.мп.} R_{\max}) \sin m_{з.мп.} t - h_{з.мп.} \sin(t - m_{з.мп.} t). \quad (4)$$

Побудови зручно виконувати, орієнтуючи розмітку листа згідно осей x , y і напрямів поширення системних макротріщин. При побудовах в косокутній системі координат, осі в якій орієнтовані під кутом перетину тріщин крутоспадаючих систем, результати обчислень будуть більш точними.

З викладеного можна зробити такі **висновки**:

Аналізом існуючих досліджень виявлено, що вибухові хвилі для умов застосування існуючих промислових ВР, як правило є акустичними. Іноді, наприклад, у нещільних, пористих породах, на невеликій відстані від заряду, мають місце прояви ударної хвилі, яка, змінюючи пористу породу, зменшує свою швидкість до значень звукової швидкості, характерної для цієї породи.

Форма вибухових хвиль в межах 3-4 радіусу подрібнення - асиметрична: на фронті - швидке зростання напружень до максимальних значень, після чого в 3-8 разів більш повільне зменшення напружень до нуля.

Виконано експериментальні дослідження швидкості вибухових хвиль в гірських породах кар'єру «Північний» ГЗК «Укрмеханобр», а також широкі лабораторні дослідження різноманітних властивостей гірських порід в межах їх міцності $f=6-14$.

На основі теоретичних досліджень, вперше запропоновано новий порядок ініціювання зарядів у вибуховому блоці, з початком його у середині вибухового блоку, з подальшим розвитком процесу руйнування до вільної поверхні укосу уступу.

Моделюванням процесу розповсюдження вибухових хвиль в уступах гірських порід різної міцності та їх взаємодії, встановлено значення ефективних інтервалів сповільнень для запропонованого способу підривання гірських порід.

У кристалічних породах з вираженою системною тріщинуватістю при проектуванні БВР необхідно враховувати акустичну анізотропію середовища, що забезпечує додаткові можливості регулювання гранулометричного складу підірваної гірничої маси.

Список літератури

1. Суханов А.Ф., Кутузов Б.Н. Разрушение горных пород взрывом. - М.: Недра, 1983. - 344 с.
2. Кутузов Б.Н. Методы ведения взрывных работ. Часть 1. - М.: Горная книга, 2009. - 471 с.
3. Кутузов Б.Н. Методы ведения взрывных работ. Часть 2. -М.: Издательство «Горная книга», «Мир горной книги», Издательство Московского государственного горного университета, 2008. - 512 с.
4. Перегудов В.В., Жуков С.А. Пути повышения качества взрывных работ при разрушении горных пород сложной структуры. Монография. - Кривой Рог: Издательский дом, ISBN 966-7388-47-6. 2002. - 305 с.
5. Власов О.Е. Основы теории действия взрыва. – М.: ВИА, 1957.– 407с.
6. Кузнецов В.М. Математические модели взрывного дела. – Новосибирск: Наука, 1977. - 259 с.
7. <http://industry-portal24.ru/razrushenie/2738-udarno-volnovaya-teoriya-vzryvnogo-razrusheniya.html>
8. Федоров Ф. И. Теория упругих волн в кристаллах, -М.: 1965.
9. Musgrave M.J.P. Crystal acoustics. Introduction to the study of elastic waves and vibrations in crystals, S.F., 1970.
10. Мосинцев В.Н. Дробящее и сейсмическое действие взрыва в горных породах. - М.: Недра, 1976. - 271 с.

Рукопис подано до редакції 21.03.16

УДК 622.272

С.В. ТИЩЕНКО, д-р техн. наук, Г.И. ЕРЕМЕНКО, канд. техн. наук,
Криворожский национальный университет, Д.Ю. МАЛЫХ, ПАО «ИнГок»

ФОРМИРОВАНИЯ ПОЛЕЙ НАПРЯЖЕНИЙ ПРИ ВЗРЫВЕ СКВАЖИННЫХ ЗАРЯДОВ ВВ В РАЗРУШАЕМОМ ОБЪЕМЕ ГОРНЫХ ПОРОД

Цель. Качество дробления взорванной горной массы – это один из основных показателей эффективной работы буровзрывного комплекса. Последнее во многом зависит от технологии ведения взрывных работ, включающей в себя способы размещения, формирования и инициирования скважинных зарядов ВВ.

Методы исследований. Эти составляющие технологии ведения взрывных работ в значительной степени определяют характер распределения энергии взрыва в разрушаемом массиве горных пород. Очень быстрое выделение большого количества энергии в разрушаемом объеме горных пород сопровождается различными процессами разрушения. Определение зависимости между этими процессами – одна из задач теории разрушения твердых тел при взрыве.

Научная новизна Изучен механизм образования предварительной взрыводинамической зоны разрушения при взаимодействии силовых полей смежных скважинных зарядов ВВ, расположенных на границе взрываемого горного массива, установлены зависимости между плотностью энергии взрыва аккумулированной средой, массовой скоростью и величиной начального удельного импульса взрывной нагрузки для произвольной точки разрушаемого объема горных пород.