

УДК 622.235.535

РОЗРОБКА ЕФЕКТИВНИХ І СЕЙСМОБЕЗПЕЧНИХ СХЕМ КОРОТКОСПОВІЛЬНЕНОГО ПІДРИВАННЯ З НЕЕЛЕКТРИЧНОЮ СИСТЕМОЮ ІНІЦІУВАННЯ В АНІЗОТРОПНИХ ПОРОДАХ**В. В. Бойко, С. Ю. Богуцький, Т. В. Хлевнюк**

Інститут гідромеханіки НАН України

вул. Желябова, 8/4, м. Київ, 03680, Україна. E-mail: serg1989_07@mail.ru

В. М. Вознюк

Міжвідомча асоціація «Укрвибухпром»

просп. Науки, 10, м. Київ, 03039, Україна. E-mail: mefodich@ukr.net

Вивчено вплив на результати вибухового подрібнення та сейсмоефекту орієнтування систем тріщин відносно до фронтальної площини блоку, який руйнується. Розроблено рекомендації щодо проектування параметрів сітки свердловин і комутації схем короткосповільненого підривання з неелектричною та електронною системою ініціювання при вибухових роботах в умовах анізотропних порід для підвищення якості подрібнення гірської маси з керованим сейсмоефектом відносно до охоронного об'єкту. Із використанням екрануючого ефекту були розроблені технологічні схеми підривання, що дозволяють створити зруйновану зону на флангах блоку за рахунок врубового з'єднання групи свердловинних зарядів вибухових речовин, що висаджуються в серії. Результатом цього є підвищення рівномірності подрібнення, зменшення діаметру середнього куска, відсутність заколів у тил масиву, виключення викидів гірської маси на верхню площадку уступу, зменшення радіусу зони, небезпечної по розльоту осколків породи.

Ключові слова: тріщина, енергія вибуху, вруб, сейсмоефект.**РАЗРАБОТКА ЭФФЕКТИВНЫХ И СЕЙСМО БЕЗОПАСНЫХ СХЕМ КОРОТКОЗАМЕДЛЕННОГО ВЗРЫВАНИЯ С НЕЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ ИНИЦИИРОВАНИЯ В АНИЗОТРОПНЫХ ПОРОДАХ****В. В.Бойко, С. Ю. Богуцкий, Хлевнюк Т. В.**

Институт гидромеханики НАН Украины

ул. Желябова 8/4, г. Киев, 03680, Украина. E-mail: serg1989_07@mail.ru

В. М.Вознюк

Межведомственная ассоциация «Укрвзрывпром»

просп. Науки, 10, г. Киев, 03039, Украина. E-mail: mefodich@ukr.net

Изучено влияние на результаты взрывного измельчения и сейсмического эффекта ориентации систем трещин по отношению к фронтальной плоскости блока, который разрушается. Разработано рекомендации к проектированию параметров сетки расположения скважин и коммутации схем короткозамедленного взрывания с неэлектрической и электронной системой инициирования при взрывных работах в условиях анизотропных пород, для повышения качества дробления горной массы с управляемым сейсмическим эффектом по отношению к охранному сооружению. С использованием экранирующего эффекта были разработаны технологические схемы взрывания, позволяющие создать разрушенную зону на флангах блока за счет врубового соединения группы скважинных зарядов взрывчатых веществ, высаживаемых в серии. В результате этого повышается равномерность дробления, уменьшается диаметр среднего куска, отсутствуют заколы в тил массива, исключаются выбросы горной массы на верхнюю площадку уступа, уменьшается радиус зоны, опасной по разлету осколков породы.

Ключевые слова: щель, энергия взрыва, вруб, сейсмический эффект.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. На основі проведення комплексу наукових досліджень розроблено класифікацію УКЩ і вапняків Прикарпатського прогину за ознакою наявності анізотропних властивостей на місцевості [1], де розташований кар'єр і прилегла до нього територія проживаючого населення.

Класифікація містить три класи і два підкласи. Найбільш типовим для кар'єрів України є підклас А І класу (території із закономірно орієнтованою системою паралельних тріщин, на якій розташований кар'єр і прилегла зона з об'єктами, що охороняються), тому проводились теоретичні та експериментальні дослідження щодо руйнівної та сейсмічної дії циліндричного заряду, характеру розповсюдження сейсмічних хвиль в масивах, де анізотропія проявлена у вигляді закономірної системи паралельних тріщин. Продовженням цих досліджень є вивчення

впливу на результати вибухового подрібнення та сейсмоефекту, з урахуванням орієнтування систем тріщин відносно до фронтальної площини блоку, який руйнується.

Мета роботи – розробка рекомендацій щодо проектування параметрів сітки розташування свердловин та комутації схем короткосповільненого підривання з різною системою ініціювання при вибухових роботах в умовах анізотропних порід для підвищення якості подрібнення гірської маси з керованим сейсмоефектом відносно до охоронного об'єкту.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. Аналіз літературних і патентних джерел щодо вибухових робіт в тріщинуватих гірських породах можливо розділити на дві групи. До першої відносять дослідження, які базуються, враховуючи ступінь тріщинуватості масиву, який підривається [1]. До другої – ті, що ґрунтуються на виборі оптимального

кута між фронтальною площиною блока, який підривається, і напрямком простягання систем вертикальних тріщин [2]. Останні поділяються на розкриті і щільно зімкнуті.

При проведенні експериментальних досліджень для вивчення сейсмічних властивостей гірського масиву і перенесення їх на об'єкт, що охороняється, повинна обиратись апаратура, яка забезпечить не тільки виміри швидкості коливань, але і програму спектрального аналізу всього коливального процесу у взаємозв'язку з його сейсмостійкістю, технічним станом, тощо. Обробку експериментальних даних здійснювали методами математичної статистики з одержанням регресій за програмами багатofакторного кореляційно-регресійного аналізу. Близькість зв'язку досліджуваних факторів оцінювали за індексом кореляції.

Мінімальне і необхідне число сейсмометричних вимірів обчислювалось за нижче наведеною формулою:

$$N = 0,2 \frac{3K_{вар}^2 + 1}{S_0^2}, \quad (1)$$

де $K_{вар}$ – коефіцієнт варіації, який характеризує розкид експериментальних точок: $K_{вар} = (\sigma/K_{сер}) \cdot 100\%$; S_0^2 – ймовірна помилка визначення коефіцієнта варіації; σ – середньоквадратичне відхилення від середньої; $K_{сер}$ – середньоарифметична величина ряду.

Для одержання необхідної інформації про умови масового вибуху і сейсмовибухові хвилі дані інструментальних вимірів уніфікувалися за: параметрами вибуху кожного блока і характеристикою порід та параметрами сейсмічних хвиль. Вимірювана швидкість та період коливань ґрунту біля фундаменту будівлі порівнювалась з допустимою швидкістю коливань ґрунту для будівлі, яка підлягає збереженню, з урахуванням співвідношення (T/T_0). Фактична сейсмічна стійкість споруд, які підлягають збереженню, визначалась у залежності від співвідношення періодів коливань ґрунту та споруди. Швидкість коливань (V), в сантиметрах за секунду, обчислювалась за формулою:

$$V = \frac{2\pi \cdot A}{T}, \quad (2)$$

де A – амплітуда зміщення часток ґрунту, см; T – період коливань, що визначався із сейсмограми, с.

Найбільш прийнятним критерієм сейсмобезпеки при ВР для будівель є величина швидкості зміщення часток ґрунту в їхній основі [6, 7]. Ушкодження споруд наступає в тому випадку, коли швидкість зміщення часток ґрунту (U , см/с) перевищує допустиму її величину [U]. Особливо небезпечним становище стає, коли частота коливань ґрунтової основи будівлі наближається до її власної. Щодо гірських порід, то їх сейсмостійкість визначають відсутністю залишкових деформацій під час проходження сейсмічних вибухових хвиль. Критерієм сейсмостійкості гірської породи є відносна пружна деформація (E_0), яку враховують за формулою:

$$E = \frac{U}{V_p}, \quad (3)$$

де U – швидкість коливань часток ґрунту в пункті спостереження, м/с; V_p – швидкість розповсюдження хвилі, яка досліджується, м/с.

Слід відмітити, що в дослідженнях [1] приведені результати характеру розповсюдження навколо вибуху сейсмічних хвиль в масивах, де анізотропія проявлена у вигляді закономірної системи паралельних тріщин, тобто така, як на багатьох кар'єрах із видобутку будівельної сировини на Україні. При цьому отримані границі ізосейсм навколо вибуху свердловинних зарядів, з'єднаних по різних схемах КСП [1] змінюється від еліптичних форм до форм у вигляді кола. Такий перехід слід очікувати в периферійній від вибуху зоні, оскільки зі збільшенням відстані від вибуху до точки спостереження в спектрі коливань високочастотні складові затухають, для яких тріщини не є перепорою.

Відомі дослідження [2] підривання в тріщинуватих породах, основний зміст яких полягає в тому, що оптимальне направлення фронтальної площини ділянки, яка підривається повинно, відповідати умовам, коли одна система тріщин співпадає з направленням відбійки, а інша – перпендикулярна йому. Слід зазначити, що в анізотропних масивах найбільш інтенсивно розвинені системи вертикальних тріщин стиску і розтягу, які орієнтовані взаємно перпендикулярно одна відносно до одної, а направлення відбійки орієнтовано перпендикулярно фронтальній площині блока, який підривається. Отже, однією із задач досліджень було вивчення схем підривання, при яких направлення відбійки може бути орієнтовано як вздовж простягання розтягу, так і паралельно простягання системи щільно зімкнутих тріщин. Також необхідно було одержати відповідь на питання, паралельно якій із систем тріщин слід орієнтувати направлення відбійки. Тому схеми підривання повинні враховувати рівнозначний вплив на результати вибухового подрібнення орієнтування систем розкритих і щільно зімкнутих тріщин відносно до фронтальної площини блока, який руйнується. Єдине, що досить чітко можливо стверджувати, вибір інтервалу сповільнення повинен бути таким, який забезпечує послідовність вибуху заряду з оптимальним орієнтованим кутом $(0-180)^\circ$ фронтальної площини блока, який руйнується, паралельно одній із основних систем тріщин. Не потребує особливих доказів те, що механізм руйнування масиву в зоні тріщин стиску і зоні тріщин розтягу, а також на ділянці перетину даних зон має досить суттєву різницю. Очевидно, що в зоні розвитку тріщин розтягу основна частина енергії вибуху поширюється в напрямку простягання розкритих тріщин. У зоні розвитку щільно зімкнутих тріщин стиску присутня нерівномірність в розповсюдженні енергії вибуху, але це явище виражене менш різко. Для досягнення високої якості подрібнення гірничої маси необхідно, щоб енергія вибуху була якнайбільш задіяна в межах блока, що руйнується, за рахунок послідовності

вибуху зарядів з оптимальним кутом відносно до основної системи тріщин Q. Ту частину енергії вибуху, яка розповсюджується в глибину масиву, незадіяну в межах блоку, слід віднести до непродуктивних витрат і як джерела сейсмоефекту. Якщо в зоні розвитку розкритих тріщин чи на ділянці, де розкриті і щільно зімкнуті тріщини мають однакову інтенсивність, орієнтувати вертикальну площину блоку, який руйнується, перпендикулярно розкритим тріщинам (паралельно щільно зімкнутим), будуть спостерігатися значні заколи в тил масиву, збільшиться розліт осколків породи і викиди гірської маси на верхню площадку уступу, а також збільшиться сейсмоефект. Це обумовлюється тим, що напрямок розповсюдження енергії вибуху за рахунок послідовного вибуху кожного заряду співпадає з простяганням розкритих тріщин і орієнтовано в тил масиву перпендикулярно фронтальній площині блоку, який руйнується.

Значного зниження сейсмоколивань можна досягти за рахунок екранування сейсмічних хвиль за

допомогою попередньо створеної подрібненої зони масиву порід.

Використовуючи екрануючий ефект та теоретичні і експериментальні дані наведені, вище були розроблені технологічні схеми підривання для анізотропних порід з закономірно орієнтованою системою паралельних тріщин (рис. 1а,б), що дозволяють створити зруйновану зону на флангах блоку за рахунок врубового з'єднання групи свердловинних зарядів вибухових речовин, що висаджуються в серії.

Сутність способу полягає у формуванні врубової порожнини на фланзі блоку на глибину, що дорівнює ширині зруйнованого блоку, і утворенні щілини по його внутрішньому контуру. У напрямі об'єкту, що охороняється, істотно зниження сейсмоефекту від основних зарядів досягається за рахунок випереджаючого вибуху врубових зарядів, а також за рахунок того, що система паралельних тріщин проходить 'дотично' до охоронного об'єкту. При проектуванні даних схем урахувались похибки хвилеводів пристроїв СІН [3].

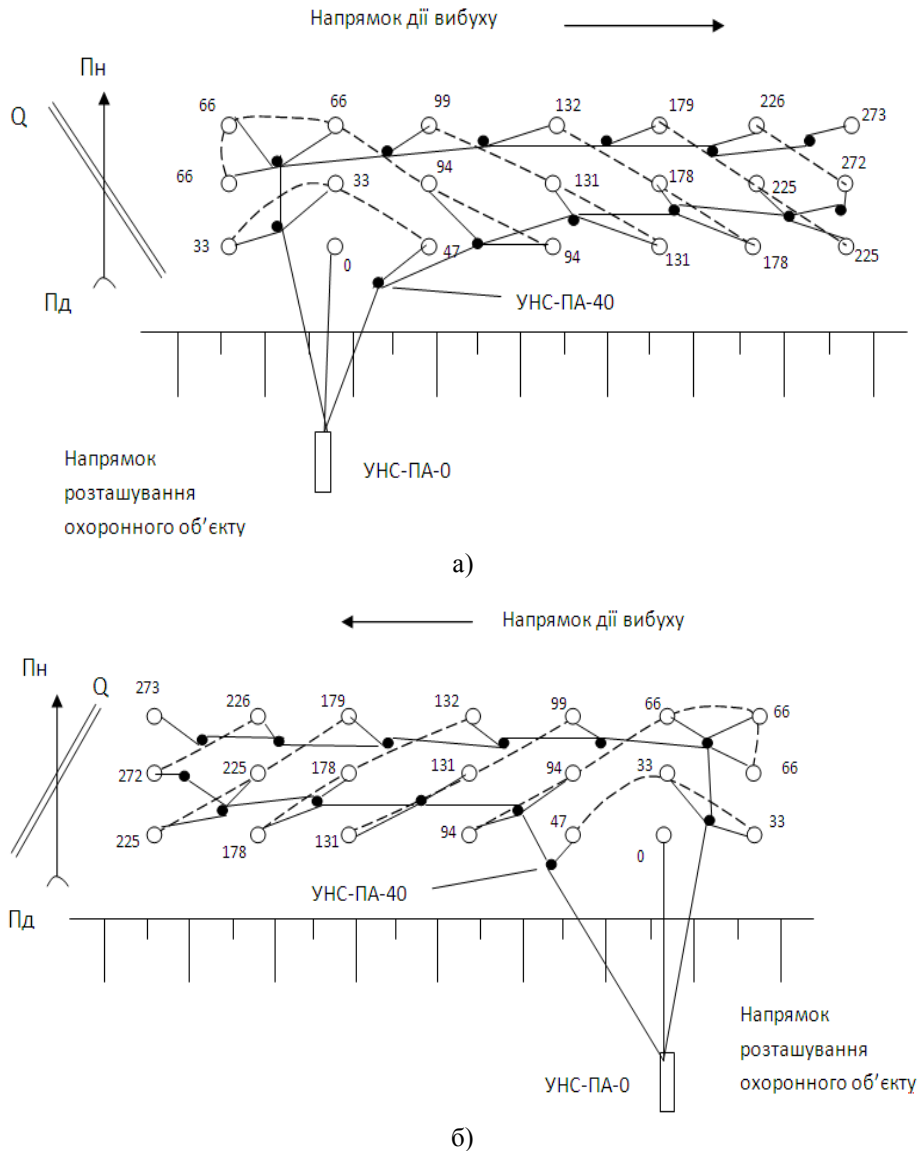


Рисунок 1 – Технологічна схема підривання відносно системи тріщинуватості Q: а) з лівим орієнтуванням врубу; б) з правим орієнтуванням врубу

Вруб, який з системою тріщин Q створює гострий кут на фланзі блоку, утворюється за 94 мс, після чого підриваються ряди, які змонтовані паралельно системі тріщин Q , також зі сповільненням в групі (до 46 мс). При цьому протяжність врубової порожнини в тил масиву рівна ширині блоку, який підривається. В результаті застосування даної схеми, вибух виключає можливість передачі енергії зарядів, нездетонованих до моменту утворення врубової порожнини, в напрямку флангу блоку, протилежному його торцю. Отже, відбувається локалізація основної частини енергії вибуху в межах руйнованого блоку, що забезпечує значне збільшення ефективності подрібнення гірської маси. При цьому протяжність врубової порожнини в тил масиву рівна ширині блоку, який підривається.

Напрямок фронту ведення гірничих робіт задається так, щоб висаджувані блоки орієнтувалися перпендикулярно тильною своєю частиною до об'єктів, що

охороняються. Спочатку відпрацьовуються блоки ближні до об'єктів, що охороняються. При цьому кожна серія свердловинних зарядів в блоці передбачає застосування розроблених схем підривання з обов'язковим дотриманням орієнтування врубових зарядів з боку об'єктів, що охороняються. Таке розташування зарядів в блоці створює умову, при якій вибух врубових зарядів утворює екран у напрямку об'єктів. Це дозволяє відвести вектор максимального сейсмоефекту основних зарядів від охоронних об'єктів. Після вибухового відпрацювання ближніх блоків утворюється траншея з боку об'єктів, що охороняються, що знижує сейсмобезпеку ведення вибухових робіт на дальніх блоках.

Принцип розташування зарядів у сітці такий, що відстань між зарядами, які вибухають паралельно системі тріщин Q відносилась до відстані між самими цими рядами відповідно до коефіцієнту анізотропії k_a (рис. 2).

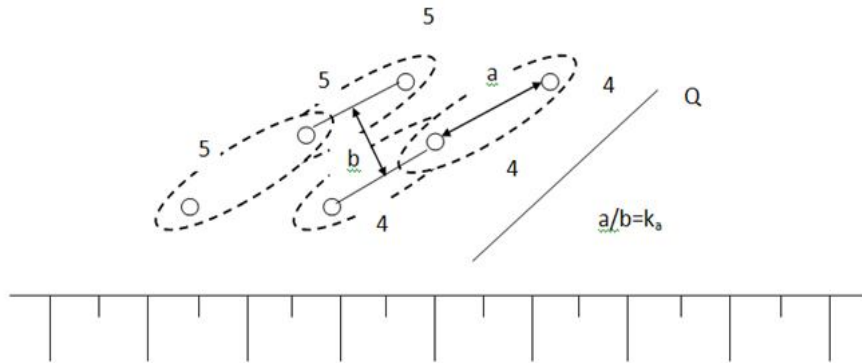


Рисунок 2 – Принципи розташування зарядів

Застосувавши дані схеми на реальних масових вибухах отримали наступні результати: сейсмобезпечні відстані для різних N (кількість груп зарядів)

та Q (загальна маса зарядів) зі збільшенням удвічі (оскільки будинки в незадовільному технічному стані) наведено у табл. 1.

Таблиця 1 – Сейсмобезпечні відстані

Q , кг	4000	6000	10000	12000	16000
$R_c \times 2$, м ($N = 6$ шт.)	480	658	660	700	770
$R_c \times 2$, м ($N = 15$ шт.)	398	440	526	550	614
$R_c \times 2$, м ($N = 20$ шт.)	360	400	480	560	570

Проаналізувавши отримані дані, можемо стверджувати про те, що необхідно застосувати такі пристрої ініціювання зарядів, за яких стане можливим створення після вибуху кожного заряду паузи сповільнення (тобто при проектуванні створювати якомога найбільшу кількість груп зарядів, що вибухають одночасно). Такі вимоги може виконати неелектрична система ініціювання типу "Імпульс", яка останніми роками широко впроваджується на кар'єрах України, але спосіб прогнозування сейсмічного ефекту короткосповільненого підривання до сьогодні науковцями у цій галузі не переглядався.

Із аналізу існуючих літературних даних і нормативних документів [4–7] та враховуючи досвід виконання робіт в промисловій сейсміці, було визначено концепцію сейсмобезпеки в подальших дослідженнях, які полягають в тому, що найбільшу небезпеку викликає той тип хвиль, який по частотному спектру і з максимальним значенням амплітуд коливань найбільш наближений до власних коливань об'єкта, що охороняється.

Таким чином, орієнтуючи врубову зону у напрямі району, в якому розташований об'єкт, що охороняється, а також беручи до уваги розташу-

вання паралельних тріщин і збільшуючи кількість груп зарядів, що вибухають одночасно можливо зменшити в 1,5–2 рази сейсмонебезпечну відстань у вказаному напрямі (рис. 1,а,б).

Якість роботи даних схем найбільш правильно оцінити за об'єктивною характеристикою подрібнення гірничої маси, тобто визначення гранулометричного складу. Часто результати подрібнення породи вибухом оцінюють тільки візуально. Але й є новітні комп'ютерно-фотопланіметричні способи

експериментального визначення гранулометричного складу[8], такі як програма «Грансостав–2008». Після масового вибуху на розвалі гірничої маси за допомогою гнучкої стрічки викладаються прямокутні фігури фотографії переносяться в комп'ютерну програму і обводять контури крупних кусків породи. Після перетворення панорамного зображення об'єктів на фотографії в плоске зображення з реальними розмірами отримуємо таблицю гранулометричного складу по фракціям (табл. 2).

Таблиця 2 – Гранулометричний склад по класам крупності

Номер фотопланограми	Класи крупності				
	<100	100–300	300–600	600–1000	>1000
	Вихід по класам				
1	34,7	45,8	18,9	5,3	5
2	38,3	50,5	23,8	8,1	0
3	32,5	43,5	17,6	12,4	4
Середнє	35,0	46,6	20,1	8,6	3

У результаті застосування даних схем можемо стверджувати, що підвищується рівномірність подрібнення, зменшується діаметр середнього куска, практично відсутні заколи в тил масиву, виключаються викиди гірської маси на верхню площадку уступу. Крім цього, зменшується радіус зони, небезпечної по розльоту осколків породи.

ВИСНОВКИ.

1. З метою підвищення якості подрібнення гірської маси і зниження сейсмоефекту вибуху орієнтують фронтальну площину руйнованого блоку паралельно напрямленню переважного розповсюдження енергії вибуху в анізотропному гірському масиві, застосовують короткосповільнену схему комутації зарядів вибухової речовини, яка забезпечує локалізацію енергії вибуху в межах руйнованого блоку за рахунок утворення в початковий момент вибуху врубової порожнини на фланзі блоку, таким чином, щоб утворений вруб створював з існуючою основною системою тріщин Q гострий кут, а наступні вибухи формуються із зарядів, які створюють ряди паралельно цієї системі тріщин.

2. Відстані свердловин в ряді, які вибухають паралельно системі тріщин Q, повинні відноситись до відстані між самими рядами відповідно до коефіцієнту анізотропії породи.

3. Утворена врубова порожнина на одному із флангів блоку, яка дорівнює ширині і глибині його і яка руйнується першочергово разом з основними зарядами змонтованих в одну систему ініціювання.

4. За рахунок утворення в початковий момент екрану (порожнини) від вибуху врубових зарядів на фланзі блоку досягається зменшення сейсмоефекту в напрямку протилежному від вибуху основних випереджаючих зарядів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Бойко В.В. Проблеми сейсмічної безпеки вибухової справи у кар'єрах України: монографія. – К.: ТОВ «Видавництво Сталь», 2012. – 235 с.
2. Кучерявий Ф.И., Ефремов Э.И., Кучерявий Ю.Ф., Мяделец Б.Н. / Госком. СССР по делам изобр. и откр. № 2476203, 1979.
3. Дослідження впливу похибок сповільнювачів у поверхневих хвилеводах при експлуатації неелектричної системи ініціювання «Імпульс» на якість вибуху / В.В. Бойко, С.Ю. Богущкий, В.М. Вознюк // Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. – 2013. – Вип. 2/2013(79). – С. 83.
4. Правила безпеки під час поводження з вибуховими матеріалами промислового призначення. – Х.: ТОВ Видавництво «Форт», 2013. – 186 с.
5. Технічні правила ведення вибухових робіт на денній поверхні. – Х.: ТОВ Видавництво «Лідер», 2013. – 120 с.
6. Національний стандарт України. Проведення промислових вибухів. Норми сейсмічної безпеки / Бойко В.В., Воротеляк В.С., Воротеляк Г.А. Кузьменко А.О. та ін. / ДСТУ 4704:2008. – К.: Держспоживстандарт України, 2009. – 11 с.
7. Національний стандарт України. Вибухи промислові. Методи визначення фактичної сейсмостійкості будівель і споруд / В.В. Бойко, В.С. Воротеляк, Г.А. Воротеляк, А.О. Кузьменко / ДСТУ 7116:2009. – К.: Держспоживстандарт України, 2010. – 6 с.
8. Новый способ определения грансостава на карьерах / С.Д. Викторов, Н.Н. Казаков // Сборник «Взрывное дело». Развитие теории и практики взрывного дела. Вып. № 99/56. – М., 2008. – С. 1–3.

**DEVELOPMENT OF THE EFFECTIVE AND SEISMIC SAFE SCHEMES
OF NON-ELECTRIC SHORT-DELAY BLASTING IN ANISOTROPIC ROCKS**

V. Boyko, S. Bogutskiy, T. Hlevnuk

Institute of Hydromechanics of National Academy of Sciences of Ukraine
vul. Zhelyabova 8/4, Kyiv, 03680, Ukraine. E-mail: serg1989_07@mail.ru

V. Voznuk

Interagency Association «Ukrvybuhprom»

prosp. Nayku 10, Kyiv, 03039, Ukraine. E-mail: mefodich@ukr.net

The paper presents studied results of the influence of the cracks orientation in relation to the frontal surface of the block which is being destroyed on its explosive crushing and seismic effects. The authors have worked out recommendations for wells' grid parameters design and switching schemes for non-electrical and electronic short-delay blasting during the blasting workings in anisotropic rock environment to enhance quality of the rock mass grinded with controlled seismic effect towards the protected object. Using the screening effect, it was developed explosive flow diagrams that allow creating a destroyed area on the flanks of the block via cutting connection of a group of the blast-hole charges placed in series. The proposed measures give the grinding uniformity improvement, diameter reduction of the average section, result in elimination of balmstones and rocks emissions on the upper platform of ledge, and cause decrease of radius of the dangerous fly-rock zone.

Key words: crack, explosion energy, cutting, seismic effects.

REFERENCES

1. Boyko, V. (2012), *Problemy sejsmichnoi bezpeky vybuhovoi' spravy u kar'jerah Ukrainy* [Problems of seismic explosive case in quarries Ukraine], monograph, Publ. "Stal", Kyiv, Ukraine.
2. Kucheravyi, F.I., Efremov, A.I., Kucheravyi, J.F., Myadelets, B.N., Kratkovsky, I.L. and Boyko, V.V. (1979), Appl. to the author's certificate no. 2476203/22-03. Dated 15.07.1979, bulletin no. 26 of 15.07.1979.
3. Boyko, V.V., Bogutskiy, S.Yu. and Voznuk, V.M. (2012), "Analysis of moderators' errors influence in surface waveguides during the non-electric initiation 'Impulse' system operation on explosion quality", *Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskiy National University*, vol. 2, no. 79, pp. 83–88.
4. (2013), *Pravyla bezpeky pid chas povodzhennja z vybuhovymy materialamy promyslovogo pryznachennja* [Safety rules during management explosive materials for industrial use], Fort, Kharkiv, Ukraine.
5. (2013), *Tehnichni pravyla vedennja vybuhovyh robit na dennij poverhni* [Technical rules of blasting operations on the surface], Lider, Kharkiv, Ukraine.
6. Boyko, V.V., Voroteljak, V.Je., Voroteljak, G.A. Kuz'menko, A.O. et al. (2009), *Nacional'nyj standart Ukrainy. Provedennja promyslovyh vybuhiv. Normy sejsmichnoi' bezpeky* [National Standard of Ukraine. Conducting industrial explosions. Norms of Seismic Safety], Derzhspozhyvstandart, Kyiv, Ukraine.
7. Boyko, V.V., Voroteljak, V.Je., Voroteljak, G.A. Kuz'menko A.O. (2009), *Nacional'nyj standart Ukrainy. Vybuhy promyslovi. Metody vyznachennja faktychnoi' sejsmostijkosti budivel' i sporud* [National Standard of Ukraine. Industrial explosions. Methods for determining the actual seismic stability of buildings and constructions], Derzhspozhyvstandart, Kyiv, Ukraine.
8. Vyktorov, S.D. and Kazakov, N.N. (2008), "New way of looking granulometric size composition in the quarries", *Vzryvnoe delo. Razvitie teorii i praktiki vzryvnogo dela*, vol. 99/56, pp.1–3.

Стаття надійшла 20.12.2013.