

П.З.Луговий<sup>1</sup>, В.Г.Кравець<sup>2</sup>,  
Н.Я.Прокопенко<sup>1</sup>, А.М.Шукюров<sup>2</sup>

ПРО ВИБУХ БОЙОВИКА В ТОРЦЕВІЙ ЧАСТИНІ  
СВЕРДЛОВИННОГО ЗАРЯДУ

<sup>1</sup> Інститут механіки ім. С.П. Тимошенка НАНУ,  
вул. П. Нестерова, 3, 03057, Київ, Україна; e-mail: plugovyy@inmtech.kiev.ua

<sup>2</sup> Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут ім. І. Сікорського»,  
пр. Перемоги, 37, 03056, Київ, Україна; e-mail: kravets @ geobud. kiev.ua

**Abstract.** The possibilities of controlling the edge effect of the explosion of the conic bullet at the lower part of the borehole charge on the level of the bottom of the ledge are considered. The data from the analytical studies of the formation of the strain field in the corner zone of the blast hole bottom are shown. The feasibility and efficiency of using an intermediate detonator - cone-shaped bullet at the lower end of the borehole charge to reduce the depth of the sub drilling are confirmed.

**Key words:** edge effect, explosion, controlling, borehole charge, sub drilling, embryonic crack, conic charge, priming cartridge, shock wave, energetic flow.

**Вступ.**

Використання енергії вибуху в світовій практиці в майбутньому залишається універсальним і ефективним способом масового руйнування міцних гірських порід. Масштаби застосування вибухових методів в гірничодобувній промисловості можна оцінити за кількістю застосовуваних вибухових речовин, а вивчення процесів руйнування гірського масиву під дією вибуху привносить ідеї, впровадження яких у виробництво може істотно підвищити ефективність роботи гірничовидобувних підприємств.

Розвиток видобутку корисних копалин висуває додаткові вимоги до гірничих технологій в частині управління вибуховим руйнуванням гірських порід. В результаті для вирішення необхідних завдань потрібні нові підходи та ідеї, реалізація яких підвищить техніко-економічні показники як в межах виїмкової ділянки, так і в розробці родовища в цілому [5, 6]. Виходячи з цього, розглянемо актуальні і перспективні ідеї у вибуховому руйнуванні масивів гірських порід для розробки ефективних методів ведення вибухових робіт.

Для забезпечення необхідної продуктивності і безпеки рудника або кар'єру потрібна велика кількість свердловин і зарядів, що підриваються. В результаті різко ускладнюється виконання вибухових робіт через необхідність дотримання вимог до правильного зарядження великої кількості свердловин малого діаметру, контролю за розподілом і станом вибухових речовин (ВР) і засобів підривання. Останнім часом в науковій літературі з'явилося досить багато робіт з дослідження вибухових явищ в свердловинних зарядах. Багато з них присвячені вивченню процесу руйнування гірських порід камуфлетною і хвильовою фазою вибуху свердловинних зарядів [4, 7, 10, 19], їх трамбування [15], особливостям руйнування гірських порід при вибуху торцевої частини свердловинного заряду [2, 8, 18].

Основною функцією свердловинного заряду є руйнування породного масиву по висоті уступу. Вибух повинен забезпечити відділення масиву на рівні підшоши уступу для запобігання так званих «порогів», які є технологічно неприпустимим підняттям підшоши уступу. Причиною появи порогів є ускладнена робота заряду в затиснутому середовищі на рівні і нижче підшоши уступу. Крім того, через виродження циліндричної симетрії силового поля в сферичну в торцевій частині заряду, тобто за рахунок прояву крайового ефекту, силове поле в торці подовженого заряду втрачає 35 – 40% енергії [1].

Аналітично та експериментально вивчені закономірності формування поля напружень навколо подовженого заряду скінченної довжини, в т.ч. в області торця заряду [9]. Встановлено, що попередити виродження циліндричного фронту вибухової хвилі в області торця можна шляхом збільшення маси заряду в торцевій частині. Визначено ступінь збільшення радіусу заряду в торцевій частині в 1,2 рази або лінійної маси торцевої частини в 1,5 рази.

Слід оцінити, чому відповідає це збільшення частини заряду, що відноситься до перебуру. Покладемо, що загальне посилення торцевої частини заряду для збереження осьової симетрії силового поля на рівні лінії опору по підшоші  $W_n$  дорівнює масі заряду в перебурі. Згідно з відомими методиками, при  $L_{nep} \approx 10d_s$  і діаметрі свердловинного заряду  $d_s = 100$  мм глибина перебуру складе 1,0 м, а маса заряду в перебурі  $C_n \approx 7$  кг, тобто для компенсації втрат енергії заряду через прояв крайового ефекту слід збільшити масу торцевої частини вдвічі. Розрахунки, які наведено в [4], рекомендують збільшення маси торця в 1,5 – 1,7 рази, проте слід враховувати, що ці розрахунки усереднені без врахування відмінностей в роботі нижньої і верхньої торцевих частин свердловинного заряду.

Для ліквідації потреби в перебурі і разом з цим – для скорочення витрат на буріння і вибухові матеріали в цій частині заряду необхідно або певним чином нарощувати енергетику заряду в донній частині свердловини, використовуючи більш потужну речовину, або застосовувати певні засоби для створення попереднього відколу масиву по площині підшоши уступу. Іншими словами, потрібно направити деформаційний процес в донній частині свердловини в напрямку площини підшоши уступу на стадії започаткування і «розгону» детонації в промисловому свердловинному заряді для скорочення довжини або повної ліквідації перебуру. В ідеалі для управління величиною перебуру або для повної відмови від нього потрібно створити умови для відриву певного обсягу в заданій площині без пошкодження масиву нижче торцевої частини свердловини.

Прикладом конструктивної зміни в свердловинному заряді для керування напрямком енергетичного потоку, згідно з дослідженнями [1], є кумулятивна виїмка в нижньому торці заряду, як його конструктивний елемент. Вона дозволяє посилити дію заряду в осьовому напрямку, а саме, в напрямку перебуру, створюючи можливості для скорочення його довжини або для повної відмови від перебуру. Відома низка методів створення зародкової тріщини в горизонтальній площині на рівні торця шпуру або свердловини – шляхом застосування інертних конічних вставок з оптимальним кутом розкриття конусу [2, 6], нарізуванням зародкової тріщини в площині дна шпуру спеціальними різцями, надання донній частині свердловини спеціальної форми для орієнтації енергії вибуху в напрямку кутової зони в дні свердловини [3, 7].

В якості проміжних бойовиків – ініціаторів детонації в основному свердловинному заряді переважно використовуються зосереджені заряди потужної вибухової речовини масою до 1 кг. При цьому їх геометричні параметри, детонаційні характеристики і характер просторового розподілу випромінюваної таким зарядом енергії враховуються мінімально. Разом з тим потужний бойовик спеціальної форми також здатний змінити форму силового поля в донній частині свердловинного заряду з метою ініціювання відривних явищ в донній частині свердловини, а саме, шляхом використання в нижній частині заряду над рівнем підшоши уступу проміжного бойовика конічної форми [16], співвісного зі свердловинним зарядом і зверненого широкою основою конуса в сторону розвитку детонації, генерує нерівномірне силове поле грушовидної форми з превалюючим напрямком енергетичного потоку в радіальному напрямку вбік кутової зони дна свердловини.

### 1. Постановка задачі.

Недосконалість технології заряджання свердловин з конічним тротиловим бойовиком в донній її частині може призвести до ситуації, коли між косим зрізом бойовика, стінкою свердловини і підшвою уступу утворюється повітряний простір (рис. 1).

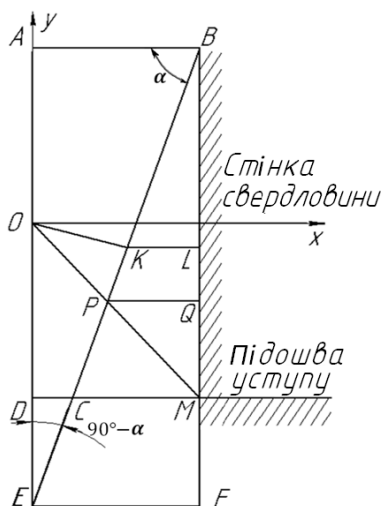


Рис. 1

У цьому випадку бічна похила поверхня бойовика повинна направити посилений потік енергії вибухових газів в сторону кутової зони дна вибухової свердловини. На підтвердження цього виконано наступні розрахунки розподілу енергетичного потоку уздовж бічної поверхні конічного заряду тротилу, з якого виготовляється проміжний ініціатор вибуху свердловинного заряду. У рішенні приймається, що ініціювання імпульсу прикладається в центрі бойовика.

Оскільки критичний діаметр литого тротилу  $d_{кр} = 8-10$  мм, то можна вважати, що при ініціюванні бойовика в центрі по його тілу поширюється сферична детонаційна хвиля з точки ініціювання. Конічний бойовик є осесиметричною фігурою. Права частина його центрального перетину показана на рис. 1. У цій площині відбуваються всі вибухові явища, які характеризують дію бойовика. Для їх дослідження введемо декартову систему координат з початком в центрі бойовика т. О (рис. 1). У цьому випадку рівняння фронту поширення детонаційної хвилі з центром в середині висоти центрального перетину бойовика запишемо у вигляді:  $x^2 + y^2 = (Ct)^2$ , де  $C$  – швидкість детонаційної хвилі,  $t$  – час. Рівняння лінії перетину верхньої основи бойовика з віссю  $y$  має вигляд  $y = H/2$ ; рівняння лінії перетину нижньої основи бойовика з віссю  $y$  має вигляд  $y = -H/2$ ; рівняння лінії перетину бічної конічної межі бойовика з площиною  $xOy$  запишемо у вигляді прямої  $y = x \operatorname{tg} \alpha - 0E$ .

### 2. Чисельні результати.

Дослідимо аналітично вибух конічного тротилового бойовика при наявності повітряного простору в торці свердловини з використанням теорії розльоту продуктів детонації з косою зрізу [1].

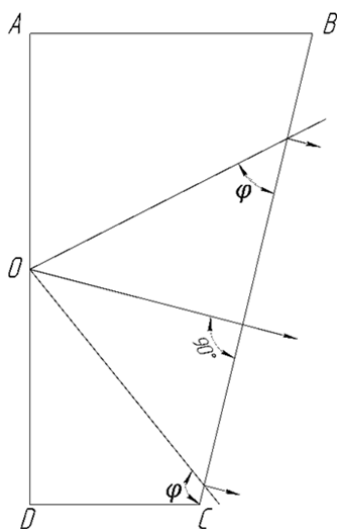


Рис. 2

У разі ініціювання бойовика в центрі його висоти витікання продуктів детонації в повітряний простір через його конічну поверхню, в певні часи, відбувається в двох точках перетину фронту детонаційної хвилі з конічною гранню бойовика. Відзначимо, що поширення фронту детонаційної хвилі описується кривою другого порядку (колом), тому детонаційна хвиля перетинає границю проекції конічного бойовика на площині  $xOy$  в двох точках. До конічної поверхні бойовика детонаційна хвиля підходить одночасно в двох точках, але під різними кутами (рис. 2). Вважатимемо, що в середньому розліт продуктів детонації відбувається по нормалі до всіх поверхонь заряду, тобто в напрямку максимального градієнту тиску [1]. З рис. 3 видно, що рівнодіюча швидкість при такому допущенні може бути визначена за такою формулою:

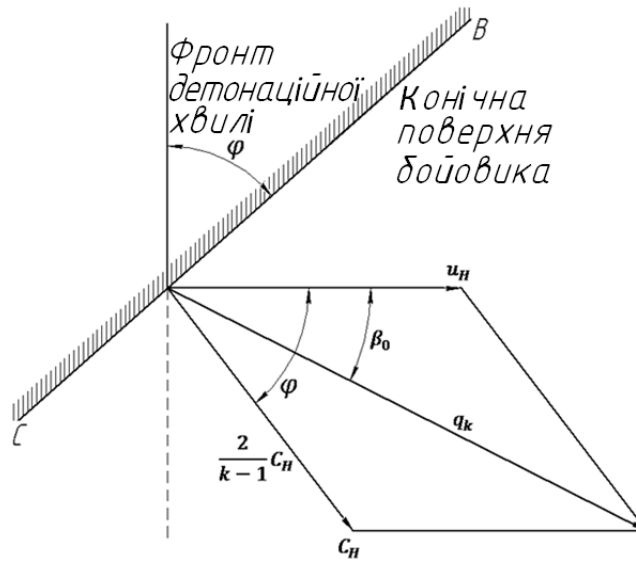


Рис. 3

$$q_k = \sqrt{u_n^2 + \left(\frac{2}{k-1}C_H\right)^2} + \frac{4}{k-1}u_nC_H \cos \varphi, \quad (1)$$

де  $u_n$  – швидкість руху продуктів детонації за фронтом детонаційної хвилі;  $k$  – показник політропи;  $2C_H/k-1$  – швидкість розльоту продуктів детонації в повітряний простір між бойовиком і поверхнею свердловини по нормалі;  $\varphi$  – кут між фронтом детонаційної хвилі і конічною поверхнею бойовика. Перетворюючи співвідношення (1) і вважаючи, що  $u_n = C/k+1$ ;  $C_H = kC/k+1$ , переходимо до наступного співвідношення ( $C$  – швидкість детонаційної хвилі):

$$q_k = \frac{C}{k^2-1} \sqrt{5k^2-2k+1+4k(k-1)\cos\varphi}. \quad (2)$$

Вважаємо, що в разі одновимірного розльоту  $k = 3iq_k = C/4 \sqrt{(10+6\cos\varphi)}$ . Оскільки промені ударних хвиль виходять із середини конічного бойовика і перетинають його косу межу під кутом  $\varphi$  (рис. 1), для якого  $\cos\varphi = \frac{x\cos\alpha + y\sin\alpha}{\sqrt{x^2 + y^2}}$ , то вираз для  $q_k$ , в кожній точці межі можна записати в такий спосіб:

$$q_k = \frac{C}{4} \sqrt{10+6\frac{x\cos\alpha + y\sin\alpha}{\sqrt{x^2 + y^2}}}. \quad (3)$$

Проведені нижче розрахунки виконано для наступних параметрів тротилового конічного бойовика і свердловини:  $AB = R_{\text{скв}} = 0,05 \text{ м} = R_{\text{боев}}$ ,  $AD = H_{\text{боев}} = 0,14 \text{ м}$ , кут  $\alpha = 73^\circ$  нахилу косої межі бойовика до осі  $x$ . При питомій щільності тротилу  $1500 \text{ г/м}^3$  швидкість його детонації  $C = 6900 \text{ м/с}$ .

На рис. 4 представлено графік залежності  $q_k$  від  $\varphi$  згідно з формулою (3).

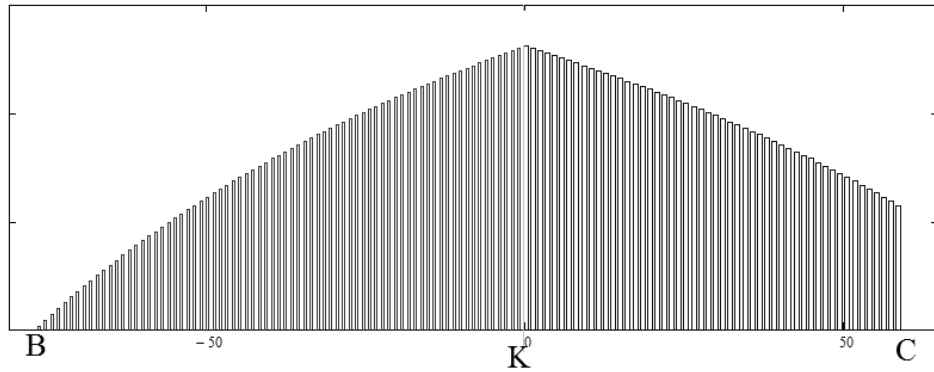


Рис. 4

Для верхнього краю конічної поверхні бойовика  $q_k = 0,9826 C$ , для нижньої конічної поверхні бойовика  $q_k = 3709 \text{ м/с}$ , значення рівнодіючої швидкості при  $\varphi = 90^\circ$ , тобто в точці, де фронт детонаційної хвилі вперше торкнеться конічної поверхні бойовика (рис. 2):  $q_k = 0,791 C$ .

Кут повороту  $\beta_0$  вектору швидкості  $q_k$  (рис. 3) для косої межі конічного бойовика можна визначити зі співвідношення:

$$\sin \beta_0 = \frac{3(x \sin \alpha - y \cos \alpha)}{\sqrt{10(x^2 + y^2) + 6(x \cos \alpha + y \sin \alpha)\sqrt{x^2 + y^2}}}. \quad (4)$$

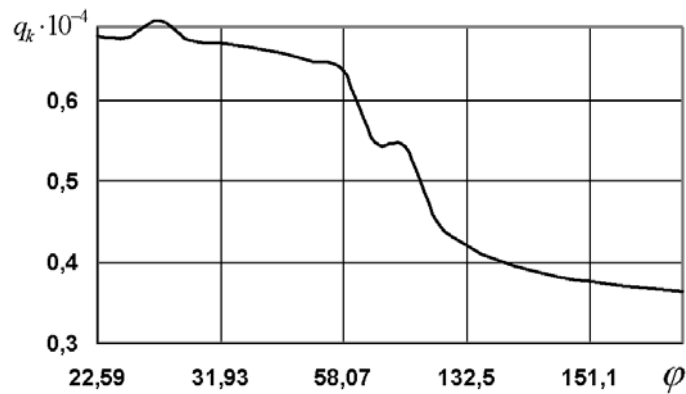


Рис. 5

Визначимо межі зміни кута  $\beta_0$  повороту швидкості  $q_k$  в залежності від зміни кута  $\varphi$  згідно з формулою (4) (рис. 5). Для верхнього кута конічного бойовика  $\sin \beta_0 = 0,213$ ; для нижнього –  $\sin \beta_0 = 0,374$ .

При  $\varphi = \pi/2$ ;  $\sin \beta_0 = \frac{2k}{\sqrt{5k^2 - 2k + 1}}$ , що при  $k = 3$  дає  $\sin \beta_0 = \frac{3}{\sqrt{10}}$ , звідки  $\beta_0 = 73^\circ$ . Це відповідає відхиленню потоку від нормалі до конічної частини бойовика на  $17^\circ$ . Відомо, що при розлітанні продуктів детонації в повітряний простір тиск в них швидко падає і газ при поширенні стає ідеальним, а показник політропи при визначенні тиску на стінку свердловини наближається до значення  $k = 7/5$ .

У нашому випадку при  $\varphi = 90^\circ$ ,  $q_k = 2,8 \text{ С}$ ,  $\beta^\circ = 80^\circ$ , отже, відхилення від нормалі складає всього  $10^\circ$ .

З вищевикладеного випливає, що при визначенні навантаження від вибуху конічного бойовика на бічну грань свердловини можна наближено вважати, що продукти детонації руйнують гірську породу в напрямку, паралельному підосві уступу.

Для визначення точок падіння ударної детонаційної хвилі на конічний зріз бойовика треба спільно розв'язати рівняння фронту поширення детонаційної хвилі і рівняння конічного зрізу бойовика:  $x^2 + y^2 = (Ct)^2$ , вважаємо, що  $Ct = r$  і  $y = x \operatorname{tg} \alpha - OE$ ,  $OE = R \operatorname{tg} \alpha - H/2$ ;

$$x_{1,2} = \frac{-(H/2 - R \operatorname{tg} \alpha) \operatorname{tg} \alpha \pm \sqrt{r^2(1 + \operatorname{tg}^2 \alpha)^2 - (R \operatorname{tg} \alpha - H/2)^2}}{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha}. \quad (5)$$

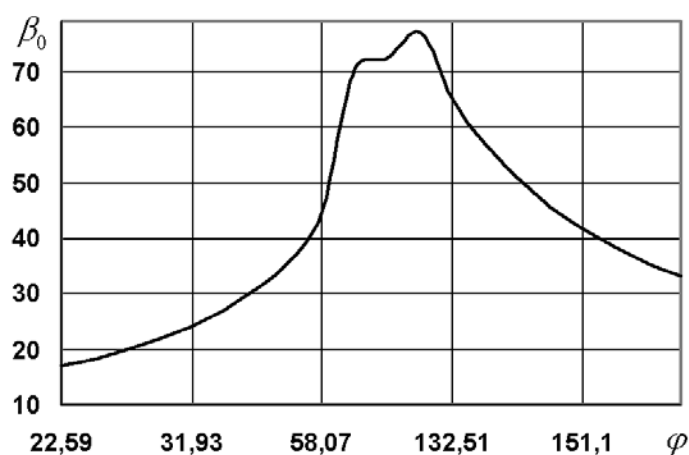


Рис. 6

Епюру розподілу швидкостей розлітання продуктів детонації з конічного зрізу бойовика  $q_k = 2kC/(k^2 - 1)$  за його конічної поверхні ВС при повній його детонації  $t_{\max} = 12,1 \cdot 10^{-6} \text{ с}$  представлено на рис 6. Максимальне значення швидкості  $q_k$  в точці  $K$  дорівнює  $5175 \text{ м/с}$ .  $BK = 77,3 \text{ мм}$ ,  $KC = 58,3 \text{ мм}$ .

Швидкість потоку середовища за фронтом детонації, який створює тиск на стінку свердловини, для тротилу можна вважати рівною  $q_{cp} = 3800 \text{ м/с}$  [1]. Пропорційно швидкостям потоку середовища за фронтом детонації відповідає епюра розподілу тиску  $P_{cp} = \rho_0 4k^2 q_{cp}^2 / (k^2 - 1)^2$  по конічній поверхні, максимальне значення якого в точці  $K$  при повній детонації конічного бойовика ( $t_{\max} = 12,1 \cdot 10^{-6} \text{ с}$ ) дорівнює  $P_{cp} = 27,43 \cdot 10^8 \text{ Па}$ .

Так як конічний бойовик вибухає в повітряному просторі, обмеженому стінкою свердловини BF і підосвою уступу DM (рис. 1), то для визначення зони руйнування гірської породи вибухом бойовика необхідно визначити імпульс, що діє на стінку свердловини BF і підосву уступу DM.

У точці В детонаційна хвиля виходить прямо в гірську породу, в якій створює тиск  $P_{cp} = 27,43/8 \cdot 10^8 \text{ Па} = 3,429 \cdot 10^8 \text{ Па}$ . У точці L (рис. 1) повітряна ударна хвиля від вибуху конічного тротилового бойовика створює тиск під час відбиття від стінки свердловини (вважаємо її абсолютно жорсткою), який можна визначити за формулою:

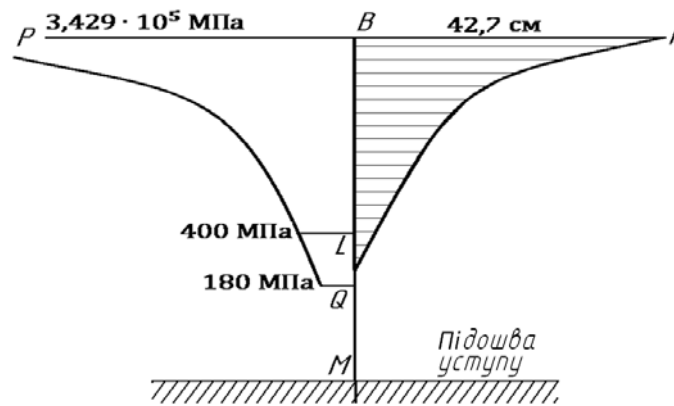


Рис. 7

$p_n = 2p_{cp}/r^3$ . При переході точки  $P$  конічної поверхні бойовика ударна хвиля практично не чинить тиску на стінку свердловини, тому що вона відбивається від підшви уступу. Час дії цього імпульсу:  $t_{\max} = (R^2 + H^2/4)^{0,5}/C$ ;  $t_{\min} = (OE \cos \alpha)/C$ .

Аналіз зміни ударного імпульсу (ліва частина рис. 7) від вибуху конічного тротилового бойовика при початку детонації в його центрі, вказує на те, що бойовик справляє розклинюючий ефект породи вздовж підшви уступу.

Для апроксимації згасання дії ударного імпульсу по гірській породі скористаємося залежністю згасання тиску в породі при вибуху сферичного заряду тротилу з вагою конічного бойовика в донній частині свердловини [2] при  $R_0 = 4,47$  см  $3,429 \cdot 10^5 (R_0/r)^3$  МПа (див. ліву частину рис. 7). Існують різні методи визначення тріщинуватості і руйнування твердих тіл [11 – 14, 17], але в даній роботі при визначенні зони руйнування гірської породи (кварциту) приймемо її міцність на стискання  $P_{СЖ} = 300$  МПа [8]. Заштрихована права частина рис. 7 зображає зону руйнування гірської породи. Можна вважати, що на межі поділу між гірською породою і продуктами детонації (ПД) для ПД виконується умова  $r = \rho_{BB} (r_0/r)^3$ , де  $\rho_{BB}$  – початкова щільність ВР;  $r_0$  – радіус заряду вибухової речовини;  $r$  – поточна відстань межі поділу [1]. Оскільки розширення ПД є ізоентропійним, то для тиску на межі поділу «ВР – гірська порода» маємо:

$$p_r/p_n = (\rho_r/\rho_{BB})^k = (r_0/r)^{3k},$$

де  $p_n = \rho_{BB} C^2/8$  – початковий тиск ПД на гірську породу;  $C$  – швидкість детонаційної хвилі.

Дослідимо руйнування гірської породи в разі правильного заряджання свердловини з тротиловим конічним бойовиком в її донній частині, коли бойовик оточений ВР типу ANFOніт. В цьому випадку донна частина свердловини являє собою комбінований заряд «ANFOніт – тротил». Особливу увагу в розгляді процесу руйнування гірської породи при вибуху торцевої донної частини свердловинного заряду повинно бути приділено умові рівноваги в системі «продукти детонації – гірська порода» [2]. Рівновага в даній системі при утворенні торцевої порожнини можлива тільки за умови рівності кінцевого тиску продуктів детонації в порожнині радіальному напруженню  $P = P_{np}$  на стінці порожнини, рівному граничному значенню  $P_{np}$  для даної породи.  $P_{np} = -P_k$ . Для виконання цієї умови величина тиску продуктів детонації повинна зменшуватися на кілька порядків. Вважається, що величина зони руйнування від вибуху

донної (торцевої) частини свердловинного заряду еквівалентна величині подібної зони при вибуху сферичного заряду, радіус якого дорівнює радіусу свердловини [2].

Скористаємося цими умовами для визначення зони руйнування при вибуху конічного бойовика, розташованого в «АНФОніті» в донній частині свердловинного заряду.

Визначимо часи приходу детонаційної хвилі на стінку свердловини  $BM$  від комбінованого заряду «тротиловий конічний бойовик – заряд ANFO між бойовиком і стінкою свердловини». Для цього беремо радіуси детонаційної хвилі від вибуху заряду тротилу, відповідні точкам  $B, Q, K, C$  і координати точок  $B, Q, K, C$  з рівняння (4) і визначаємо потрібні відстані від конічного зрізу тротилового бойовика до стінки свердловини. З рис. 8 слідує: час приходу детонаційної хвилі в загальну точку  $B$   $t_B = OB/C_{mp} = 12,1 \cdot 10^{-6}$  с;

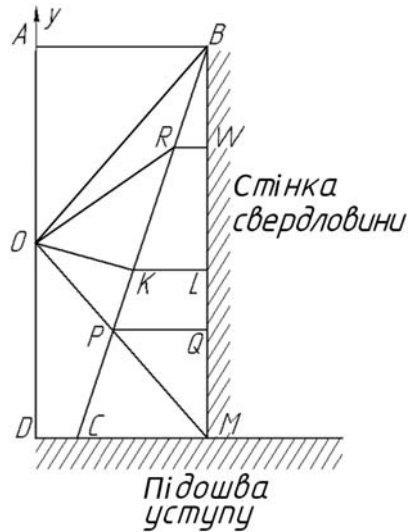


Рис. 8

$t_W = OR/C_{mp} + RW/C_{ам} = 10,9 \cdot 10^{-6}$  с;  $t_L = OK/C_{mp} + KL/C_{ам} = 11,5 \cdot 10^{-6}$  с;  $t_Q = OP/C_{mp} + PQ/C_{ам} = 13,9 \cdot 10^{-6}$  с;  $t_M = OC/C_{mp} + CM/C_{ам} = 22,9 \cdot 10^{-6}$  с. На рис. 9 ці часи відкладено обернено пропорційно часові досягнення детонаційною хвилею вибуху ANFOніту в даній точці. По суті це і є конфігурація зони руйнування кварциту.

Визначимо параметри комбінованого заряду «АНФОніт – тротил» в торцевій частині свердловинного заряду згідно [2]. Загальний обсяг змішаного циліндричного заряду дорівнює  $V_u = \pi R^2 H = 1104 \text{ см}^3$ ;  $V_{mp} = 480 \text{ см}^3$ ;  $V_{ан} = 624 \text{ см}^3$   $\rho_{cp} = (480 \cdot 1500 + 624 \cdot 900)/1104 = 1160 \text{ кг/м}^3$ . Маса змішаного заряду  $\rho_{cp} \cdot V_u = 1,16 \text{ г/см}^3 \cdot 1104 \text{ см}^3 = 1281 \text{ г} = 1,281 \text{ кг} = 0,720 \text{ кг}_{mp} + 0,561 \text{ кг}_{ан}$ .

Визначимо середню швидкість детонації змішаного заряду  $\sqrt{(C_{mp}^2 + C_{ам}^2)}/2 = 5320 \text{ м/с}$ . Середній тиск детонаційної хвилі змішаного заряду на стінку свердловини визначимо згідно [1]  $p_{cp} = \rho_{вв} C_{cp}^2 / 8 = 41,04 \cdot 10^8 \text{ Па}$ , а руйнівну дію змішаного

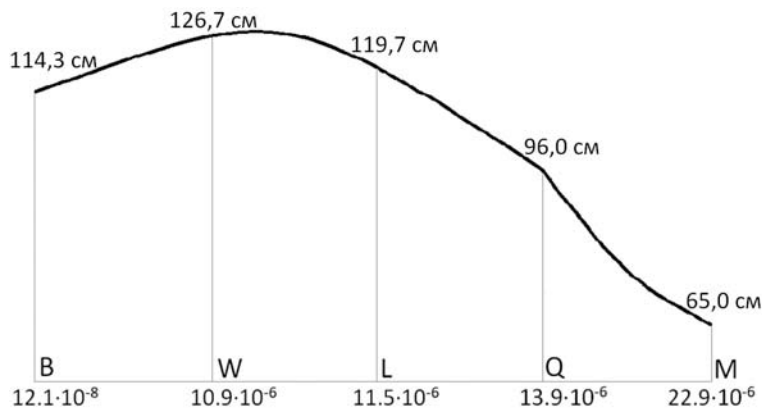


Рис. 9



заряду торцевої частини свердловинного заряду уявімо згідно дії сферичного заряду радіусу  $R_0 = R$  [2];  $P = p_{cp} [R_0 / (R_0 + r)]^3$ .

Прийнявши для кварциту  $P_{ПП} = 300$  МПа [8], отримаємо умову для визначення зони руйнування в торцевій частині змішаного свердловинного заряду «АНФОНіт – тротил» з урахуванням його дії в часовій відстані на стінку свердловини (рис. 9).

Аналіз конфігурації зони руйнування гірської породи при вибуху комбінованого торцевого заряду вказує на те, що розподіл узгоджується з грушоподібною формою силового поля від вибуху зворотного конічного заряду [16]. За інтенсивністю і формою поля ця дія забезпечує керувану розклинюючу дію на контакт торця свердловини з породним масивом в напрямку площини підосви уступу.

При розробці кварциту практично відпрацьована квадратна сітка свердловин зі стороною квадрата, яка дорівнює 3 метри. Проведені теоретичні розрахунки показують, що при вибуху тротилового конічного бойовика з масою 0,7 кг і розмірами, наведеними вище, за рахунок взаємодії вибухових хвиль [1] надійно забезпечується опрацювання підосви уступу. Збільшення маси тротилу призведе до зайвого перероздріблення породи, а зменшення – до недостатнього опрацювання підосви уступу.

### Висновки.

Виконано постановку та отримано рішення задачі про механічне руйнування гірської породи (в даному випадку кварциту) при вибуху тротилового конічного бойовика в донній частині циліндричної свердловини. В рішенні використовувалась теорія розльоту продуктів детонації з косою зрізу. Розрахунки проведено для випадку неправильного заряджання свердловини і при правильному заряджанні свердловин. Результати розрахунків показують, що дефекти заряджання свердловин можуть викликати небезпеку значного погіршення (втричі) опрацювання підосви уступу кар'єра. З аналізу поширення і взаємодії вибухових хвиль слідує, що досліджений тротильовий конічний бойовик масою 0,7 кг має оптимальні розміри і масу для сітки свердловин зі стороною квадрата 3 метри: його збільшення веде до переподрібнення породи, а зменшення – до недостатнього опрацювання підосви уступу кар'єра.

Наукові дослідження, результати яких опубліковані в цій статті, виконано за рахунок коштів бюджетної програми «Підтримка пріоритетних напрямків наукових досліджень» (КПКВК 6541230).

**РЕЗЮМЕ.** Розглянуто можливості управління крайовим ефектом вибуху конічного бойовика в нижній частині свердловинного заряду на рівні підосви уступу. Наведено дані аналітичних досліджень формування деформаційного поля в кутовій зоні дна свердловини. Підтверджено доцільність і ефективність застосування проміжного детонатора – бойовика конічної форми в нижньому торці свердловинного заряду з метою скорочення глибини перебуру.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** крайовий ефект, вибух, управління, свердловинний заряд, перебуру, зародкова тріщина, конічний бойовик, ударна хвиля, енергетичний потік.

1. Баум Ф.А., Орленко Л.П., Станюкович К.П., Чельшев В.П., Шехтер Б.И. Физика взрыва – Москва: Наука, 1975. – 704 с.
2. Дугарцыренов А.В., Ким С.И., Петров А.Н., Марков В.С. Разрушение горных пород при взрыве торцевой части скважинного заряда // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2012. – № 21. – С. 377 – 383.
3. Викторов С.Д. Взрывное разрушение массивов горных пород – основа прогресса в горном деле // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2015. – № S1. – С. 63 – 75.
4. Воробьев В.В., Помазан М.В., Шлык С.В., Воробьева Л.Д. Моделирование динамического разрушения донной части скважины с учетом концентратора напряжений // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2017. – 3, №1(87). – С. 53 – 62.
5. Гапоненко І.Л. Підвищення ефективності відбійки гірських порід зарядами з повітряною порожниною в донній частині свердловин на залізорудних кар'єрах: Автореф. дис. канд. техн. наук. – Кривий Ріг: Криворізький нац. університет, 2016. – 20 с.

6. Казаков Н.Н. Параметры процесса камуфлетного действия взрыва скважинного заряда конечной длины // Горный информационно-аналитический бюллетень. Отдельный выпуск № 1. – Москва: Мир горной книги, 2013. – С. 109 – 119.
7. Казаков Н.Н., Шляпин А.В. Разрушение породы камуфлетной и волновой фазами взрыва в верхнем слое карьерного уступа // XXIII Международный научный симпозиум «Неделя горняка – 2015». Сборник докладов. – Москва: «МИСиС», 2015. – С. 103 – 123.
8. Ржевский В.В., Новик Г.Я. Основы физики горных пород. – Москва: Недра, 1984. – 359 с.
9. Changyou L., Jingxuan Y., Bin Y. Rock-breaking mechanism and experimental analysis of confined blasting of borehole surrounding rock // Int. J. of Mining Science and Technology. – 2017. – 27, N 5. – P. 795 – 801.
10. Chun-ruia L., Li-jun K., Qing-xing Q., De-bing M., Quan-ming L., Gang X. The numerical analysis of borehole blasting and application in coal mine roof-weaken // The 6th Int. Conf. on Mining Sci. & Technology. Procedia Earth and Planetary Science 1. – 2009. – P. 451 – 459.
11. Guz A.N. Nonclassical Problems of Fracture/Failure Mechanics: on the Occasion of the 50th Anniversary of the Research (Review) I // Int. Appl. Mech. – 2019. – 55, N 2. – P. 129 – 174.
12. Guz A.N. Nonclassical Problems of Fracture/Failure Mechanics: on the Occasion of the 50th Anniversary of the Research (Review) II // Int. Appl. Mech. – 2019. – 55, N 3. – P. 239 – 295.
13. Kaminsky A.A., Kurchakov E.E. Fracture Process Zone at the Tip of a Mode I Crack in a Nonlinear Elastic Orthotropic Material // Int. Appl. Mech. – 2019. – 55, N 1, – P. 26 – 43.
14. Kaminsky A.A., Kipnis L.A., Polishchuk T.V. Model of the Plastic Zone at the Point of Intersection of Microplastic Deformation Lines // Int. Appl. Mech. – 2019. – 55, N 5. – P. 515 – 523.
15. Katanov I. The Change of the Spatial Parameters of the Destruction of the Rock Mass by Borehole Charge with Low-Density Tamping // III Int. Innovative Mining Symposium. E3S Web of Conferences – 2018. – 41. – P. 1 – 4.
16. Kravets V.G. Zakusylo R.V., etc. Edge effects of limited length downhole charge explosion // Conf. proc. of 31th Int. Conf. Blasting Techniques 2019, Slovak Society for Blasting and Drilling Works, Banská Bystrica Slovakia: 2019. – P. 207 – 216.
17. Lugovoi P.Z., Prokopenko N.Y., Orlenko S.P. Control of Crack Formation in Rock in Using Nonexplosive Braking Compositions // Int. Appl. Mech. – 2018. – 54, N 6. – P. 666 – 674.
18. Vokhmin S.A., Kirsanov A., Kurchin G.S., Shigin A. Destruction of rock upon blasting of explosive agent // J. of Engineering and Applied Sci. – 2017. – 12, N 13. – P. 3978 – 3986.
19. Wang Z., Gu X., Zhang W., Xie Q. Analysis of the Cavity Formation Mechanism of Wedge Cut Blasting in Hard Rock. // Shock and Vibration. – 2019. – N 2. – P. 1 – 10.

Надійшла 29.10.2019

Затверджена до друку 15.12.2020