

М. В. Кривцов, д-р техн. наук, І. В. Карпенко
(ДУ «ННДІПБОП»)

ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ПРОМИСЛОВОЇ БЕЗПЕКИ В ПРОЦЕСАХ ПОВОДЖЕННЯ З ВИБУХОВИМИ МАТЕРІАЛАМИ

Наведено аналіз основних небезпечних факторів при вибуху з таких позицій: стислий розгляд фізичних закономірностей формування, поширення та характеристика уражаючої дії цих факторів у навколишньому просторі; оцінка чинних методик розрахунку чи визначення зон ураження (безпечних відстаней) для небезпечних факторів вибуху; встановлення можливих шляхів зменшення або локалізації уражаючої дії небезпечних факторів вибуху на людей, техносферу та довкілля.

Ключові слова: промислова безпека, вибух, небезпечні фактори, безпечна відстань.

Приведен анализ основных опасных факторов при взрыве с таких позиций: краткое рассмотрение физических закономерностей формирования, распространения и характеристика поражающего действия этих факторов в окружающем пространстве; оценка действующих методик расчета или определение зон поражения (безопасных расстояний) для опасных факторов взрыва; установление возможных путей уменьшения или локализации поражающего действия опасных факторов взрыва на людей, техносферу и окружающую среду.

Ключевые слова: промышленная безопасность, опасные факторы, безопасное расстояние.

The analysis of basic dangerous factors is resulted at an explosion from such positions: short-story consideration of physical conformities to law of forming, distributions and description of striking action of these factors in surrounding space; estimation of operating methods of calculation or determination of areas of defeat (safe distances) for the dangerous factors of explosion; establishment of possible ways of diminishing or localization of striking actions of dangerous factors of explosion on people, technosphere and environment.

Keywords: industrial safety, hazards, safety distance.

Щоб керувати безпекою вибухових виробництв і технологій, необхідно знати небезпечні та шкідливі фактори хімічного вибуху, фізичні закономірності їх формування в різних середовищах, а також організаційні заходи і можливі технічні засоби з їх локалізації чи уникнення. Проблема

підвищення промислової безпеки в процесах поводження з вибуховими матеріалами до сьогодні залишається актуальною. Її вирішення потребує дослідження основних небезпечних факторів при вибухах.

Хімічний вибух заряду вибухової речовини (далі – ВР) проявляється в навколишньому просторі як раптове виникнення сильно стиснених високотемпературних газоподібних продуктів, що створюють навантаження на навколишнє середовище. Механізм цього навантаження та область його поширення значною мірою визначаються умовами розміщення заряду в середовищі та властивостями останнього. Стосовно кар'єрних умов, то найчастіше таким навколишнім середовищем є породний масив і повітряний простір. Рідше вибухові роботи проводять у водному оточенні: на льодовому покриві, у воді, на дні водоймищ тощо.

Під час вибуху навколишнє середовище зазнає інтенсивного динамічного навантаження і в ньому виникає хвиля збурення, параметри якої визначаються характеристиками як вибуху, так і середовища.

Найбільш простим і поширеним заходом захисту від вибуху на денній поверхні є встановлення так званих безпечних зон, тобто відстаней (радіусів) від вибуху, за зовнішніми межами яких уражаюча дія певного фактора вибуху на людину, механізм чи інженерну споруду виключається повністю, або є допустимою. В окремих випадках для захисту від вибуху використовують технічні засоби – укриття, бліндажі, спеціальні камери тощо.

Із вищевикладеного випливає, що вибухи на денній поверхні супроводжуються такими основними небезпечними (уражаючими) факторами як:

- розкидання уламків породи та інших твердих середовищ;
- повітряна ударна хвиля;
- гідравлічна ударна хвиля;
- сейсмічні коливання земної поверхні;
- викидання газу та пилу (пилогазова хмара).

Слід нагадати, що під небезпечним фактором розуміють такий виробничий фактор, вплив якого на працівника призводить до травм, різкого погіршення здоров'я чи смерті. У разі вибуху – це ураження уламком породи чи осколком, інтенсивною ударною чи гідравлічною хвилями, гостре газове отруєння.

Вищеперераховані небезпечні та шкідливі фактори вибуху (за винятком теплової та світлової дій, які реалізуються в обмеженому об'ємі навколо місця вибуху і тому не розглядаються) детальніше буде проаналізовано далі.

Метою статті є аналіз основних небезпечних факторів при вибуху з таких позицій: стислий розгляд фізичних закономірностей формування, поширення та характеристика уражаючої дії цих факторів у навколишньому просторі; оцінка чинних методик розрахунку чи визначення зон ураження (безпечних відстаней) для небезпечних факторів вибуху; встановлення можливих шляхів зменшення або локалізації уражаючої дії небезпечних факторів вибуху на людей, техносферу та довкілля.

Як відомо з [1], в умовах горизонтальної поверхні та за відсутності вітру безпечні відстані r_p за розкиданням окремих уламків при вибуху свердловинних зарядів, розрахованих на дроблячу дію, визначаються за формулою:

$$r_p = 1250 \sqrt{\frac{f}{1 + \eta_{заб}} \frac{d}{a}}, \quad (1)$$

де η_3 – коефіцієнт заповнення свердловини вибухівкою;

$\eta_{заб}$ – коефіцієнт заповнення свердловини забивочним матеріалом;

f – коефіцієнт міцності породи за шкалою проф. М. М. Протод'яконова;

d – діаметр свердловини, м;

a – відстань між свердловинами в ряду або між їх рядами, м;

$\eta_3 = \ell_3 / L$, де ℓ_3 – довжина заряду в свердловині;

L – глибина свердловини;

$\eta_{заб} = \ell_{заб} / \ell_n$, де $\ell_n = L - \ell_3$, $\ell_{заб}$ – фактична довжина забивки (довжина колонки забивочного матеріалу); $\ell_n \geq \ell_{заб}$.

Для полегшення аналізу формули (1) представимо її у такому вигляді:

$$r_p = 1250 \eta_3 f^{0,5} (1 + \eta_{заб})^{-0,5} (d/a)^{0,5} = A_1 A_2 A_3 A_4,$$

де $A_1 = 1250 \eta_3$, $A_2 = f^{0,5}$, $A_3 = (1 + \eta_{заб})^{-0,5}$ і $A_4 = (d/a)^{0,5}$. Звідси видно, що r_p визначається сумарним впливом чотирьох множників. Проаналізуємо кожен із них.

Множник A_1 прямо пропорційний η_3 , який, у свою чергу, може змінюватися від ≈ 0 до 1,0. Коефіцієнт $\eta_3 \approx 0$ у разі, коли довжина заряду є незначною, близькою до нуля, тобто $\ell_3 \rightarrow 0$. Тоді A_1 є також мінімальним, близьким до нуля. Значення $\eta_3 = 1,0$ досягається при $\ell_3 = L$, тобто тоді, коли вся свердловина заповнена вибухівкою. При цьому $\ell_n = 0$, а $A_1 = 1250$ м.

Реально значення $\eta_3 = 1,0$ на масових вибухах можливе лише в аварійних ситуаціях; його проектне і фактичне значення в нормальних умовах (при висоті кар'єрних уступів 10–15 м) завжди менше за одиницю та знаходиться в межах приблизно 0,5–0,8. Графік лінійної залежності $A_1(\eta_3)$ показано на рис. 1, а. Загалом η_3 виступає сильним фактором впливу на розкидання уламків породи під час вибуху. Лінійність залежності $A_1(\eta_3)$ при $\eta_3 \approx 1$ з фізичних позицій є сумнівною.

Множник A_2 нелінійно зростає при збільшенні міцності гірської породи, що підлягає вибуховому дробленню.

Коефіцієнт міцності f гірських порід земної кори не перевищує 30. Вибухового дроблення, як правило, не зазнають породи з коефіцієнтом міцності менше одиниці. У цьому діапазоні змінювання f графік $A_2(f)$ показано на рис. 1, б. Як видно, A_2 змінюється в межах від 1,0 до 5,5, тобто міцність породи сильно впливає на розкид уламків при вибуху. Множник A_3 визначається величиною коефіцієнта $\eta_{заб}$. Згідно з визначенням $\eta_{заб}$ змінюється від нуля (за відсутності заповнення верхньої частини свердловини забивочним матеріалом) до одиниці (при повному заповненні верхньої частини свердловини забивочним матеріалом). Змінювання величини A_3 в цих умовах зображено на рис. 1, в. Вона зменшується з 1,0 до $\approx 0,71$, тобто не досить суттєво – всього у $\approx 1,41$ раза.

Величина A_4 визначається відношенням діаметру заряду d до відстані між свердловинами a . Для кар'єрних умов d може змінюватися від 0,075 до $\approx 0,4$ м (свердловини з термічним розширенням діаметру).

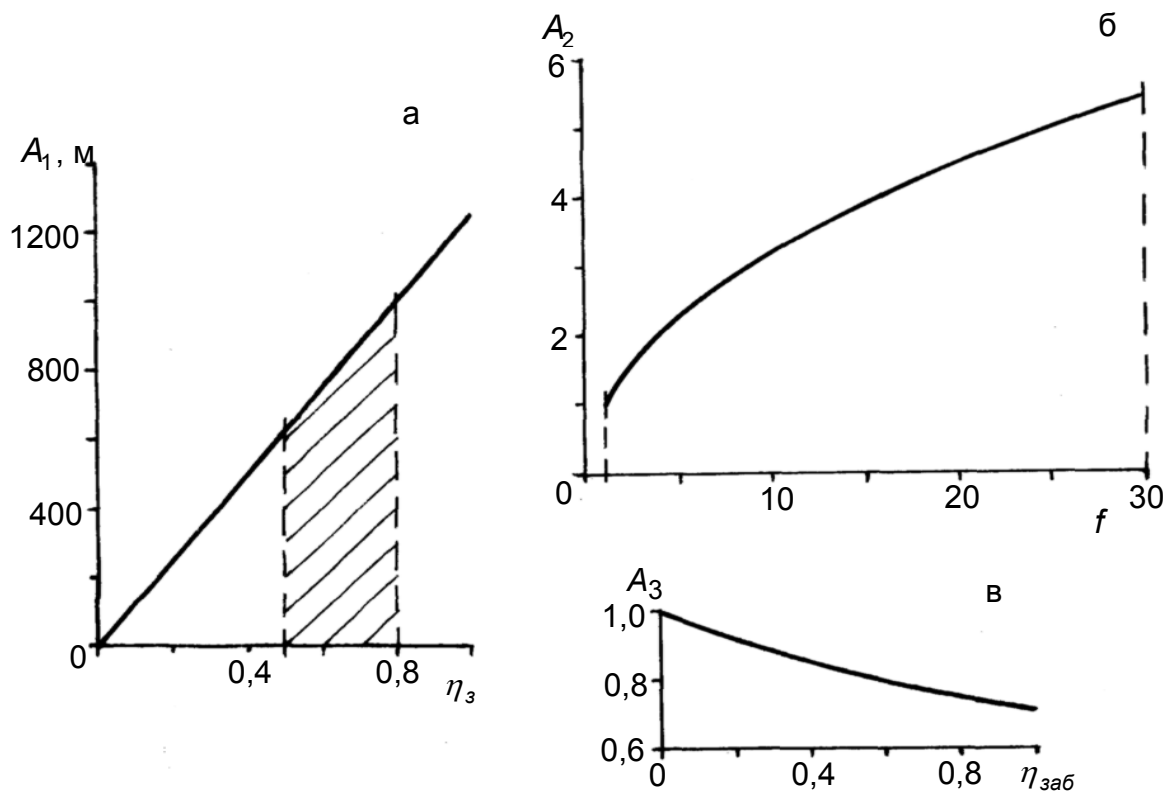


Рис. 1. Залежності $A_1(\eta_3)$ (а), $A_2(f)$ (б) і $A_3(\eta_{заб})$ (в).

Заштриховано робочий діапазон η_3

Найпоширенішими зараз є свердловини діаметром 0,25 м. Відстань між свердловинами залежить від багатьох факторів, але можна прийняти, що вона змінюється приблизно від $a \cong 20d$ до $a \cong 40d$, тобто $\xi = d/a = d/(20 \div 40)d = 1/(20 \div 40) = 0,05 \div 0,025$. Залежність $A_4(\xi)$ показана на рис 2. В реальних умовах A_4 зростає від 0,158 до 0,224, тобто в 1,42 раза

аналогічно A_3 . Якщо врахувати, що реальний діапазон змінювання d становить 0,1–0,025 м, а відстані між зарядами – $(25–30)d$, то значення A_4 будуть змінюватися ще менше.

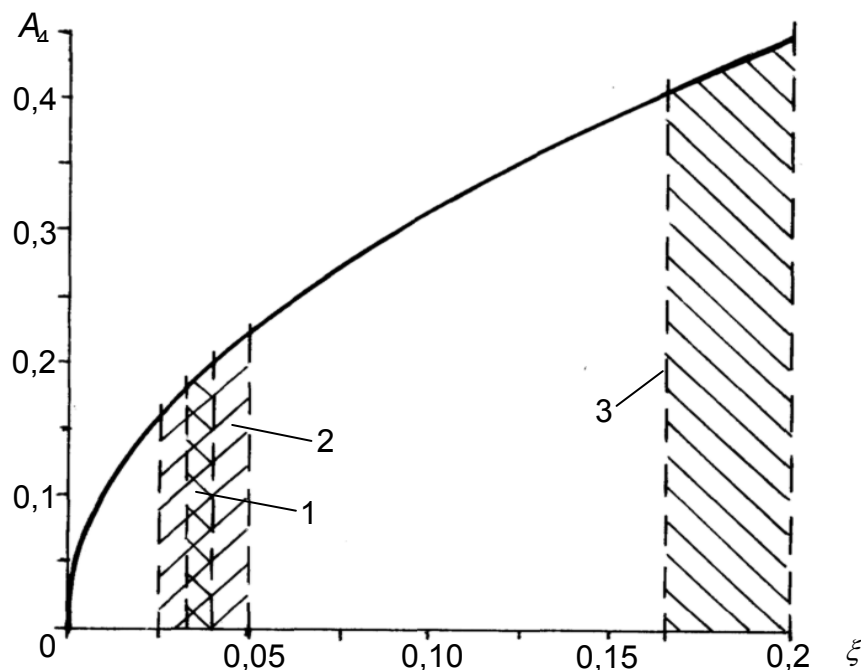


Рис. 2. Залежність $A_4(\xi)$: $1-a=(25-30)d$;

$$2-a=(20-40)d; 3-a=(5-6)d$$

Отже із наведеного аналізу видно, що із чотирьох чинників впливу (η_3 , f , $\eta_{заб}$, і $\xi = d/a$) найбільш значимими є η_3 і f . Зважаючи на те, що керувати міцністю породного масиву практично неможливо, основним регулятором впливу на величину безпечної відстані за розкиданням окремих уламків породи виступає коефіцієнт η_3 ; чинники $\eta_{заб}$ і d/a , кожен окремо, мають помітно менший вплив, але їх сумарний вплив може бути порівняним з впливом η_3 .

Застосовуючи ці чинники принципово можливо знизити величину r_p до мінімальних значень, регламентованих правилами безпеки при вибухових роботах. Проте такий підхід у більшості випадків не є доцільним з позицій функціонального призначення вибуху – одержання гірничої маси заданої крупності та розпушення. Максимальне зменшення r_p реально можливе лише у разі вибухового руйнування дрібноблокових породних масивів, де достатньо їх лише додатково розпушити для ефективної роботи екскаваторної техніки. Фактично такі умови зустрічаються виключно рідко. В усіх інших випадках такий підхід є економічно недоцільним. А тому при проектуванні та проведенні масових вибухів у кар'єрах завжди необхідно знаходити компромісне рішення стосовно узгодження «корисних» і «негативних» проявів вибуху, які безпосередньо взаємопов'язані. Необхідність такого взаємоузгодження загострюється в умовах, коли

розміри безпечної зони на місцевості обмежуються з певних об'єктивних причин. Саме тут необхідно жорстко дотримуватися тих проектних параметрів свердловинних зарядів, які забезпечують фактичну достатність величини r_p , а відповідно, й безпеку масового вибуху для його навколишнього оточення за цим показником [2].

Розглянемо можливі причини змінювання геометричних параметрів свердловинних зарядів у процесі заряджання та під час перебування ВР у свердловині до моменту вибуху порівняно з їх проектними значеннями. Це стосується можливого змінювання глибини свердловин L , довжини заряду l_z та величин l_n і $l_{заб}$, пов'язаних із забиванням свердловин. Глибина незакритих чи неякісно закритих свердловин може зменшуватися внаслідок замулювання їх породним шламом, що змивається дощовою водою з поверхні уступу або зі стінок погано очищених свердловин. Нестійкі устя свердловин можуть обвалюватися безпосередньо перед заряджанням чи в день заряджання під час їх розкривання, вимірювання глибини, встановлювання в них бойовиків, засипання ВР, а також при переміщенні зарядних машин та інших транспортних засобів на забуреному породному блоці. Якщо на час заряджання фактична глибина свердловини виявилася меншою за проектну, то існує висока ймовірність того, що при проектній довжині (масі) заряду зменшиться довжина забивки на ту ж величину, на яку зменшилася глибина свердловини. Така негативна ситуація досить високо імовірна при механізованому заряджанні. Довжина заряду може збільшуватися (а довжина забивки, відповідно, зменшуватися) у разі утворення так званих «пробок» у свердловині в процесі її заряджання. Довжина заряду може також зменшуватися при розчиненні гранульованої ВР в обводненій свердловині або при фільтрації рідкої, наприклад, емульсійної, ВР із свердловини в тріщинуватий породний масив. Отже основними причинами відхилення від проектних значень параметрів окремого свердловинного заряду можуть бути нерегламентоване замулювання чи засипання свердловин породним матеріалом, утворення пробок у заряді, просадка заряду при розчиненні чи фільтрації ВР.

Зазначені негативні події можуть призводити до зміни проектних значень L_n , l_{zn} , l_{nn} , $l_{забn}$. Проаналізуємо вплив цих змін на величини η_z і $\eta_{заб}$.

Якщо глибина свердловини зменшується на величину Δ_1 , а маса заряду в ній не змінюється, то фактичний коефіцієнт $\eta_{зф}$ зростає за виразом $\eta_{зф} = l_{zn} / (L_n - \Delta_1)$. Порівняно з його проектною величиною $\eta_{zn} = l_{zn} / L_n$ це зростання $k_{з1}$ описується формулою

$$k_{з1} = \frac{\eta_{зф}}{\eta_{zn}} = \frac{L_n}{L_n - \Delta_1}.$$

Звідси видно, що k_{31} залежить не тільки від Δ_1 , але й від проектної глибини свердловини: чим вона менша, тим більше k_{31} при незмінному Δ_1 . Пропорційно k_{31} зростає $A_{1\phi} = 1250k_{31}\eta_{3n}$ порівняно з його проектною величиною $A_{1n} : A_{1\phi} = A_{1n}k_{31}$.

Коли в свердловині утворюється пробка довжиною Δ_2 , то глибина свердловини не змінюється, а заряд піднімається на величину Δ_2 : формально $\ell_{3\phi} = \ell_{3n} + \Delta_2$; $\eta_{3\phi} = (\ell_{3n} + \Delta_2)/L_n$. Порівняно з його проектною величиною $\eta_{3\phi}$ зростає на величину $k_{32} = 1 + \frac{\Delta_2}{\ell_{3n}}$, яка залежить від Δ_2 і від проектної довжини заряду, а відповідно, і від глибини свердловини, причому чим вони більші, тим меншим є вплив Δ_2 .

При усадці заряду Δ_3 глибина свердловини не змінюється, зате $\ell_{3\phi}$ зменшується: $\ell_{3\phi} = \ell_{3n} - \Delta_3$. Відповідно зменшується і $\eta_{3\phi} = (\ell_{3n} - \Delta_3)/L_n$.

Відносний ступінь цього зменшення $k_{33} = 1 - \frac{\Delta_3}{\ell_{3n}}$. Отже, усадка зарядів знижує відстань розкидання уламків породи, але погіршує її дроблення.

А тепер звернемося до аналізу наслідків зміни параметрів ℓ_n і $\ell_{заб}$, пов'язаних із забиванням свердловинних зарядів, при виникненні відхилень від їх проектних значень.

У разі повного забивання свердловин забивочним матеріалом (повна забивка) $\ell_n = \ell_{заб}$ і $\eta_{заб} = 1,0$ при будь-яких абсолютних величинах параметрів забивки. Тобто змінювання абсолютної довжини забивки $\ell_n = L - \ell_3$ при змінюванні глибини свердловини або довжини колонки заряду в ній ніяк не впливає на відстань розкидання уламків породи при вибуху, виходячи з формули (1).

Цей факт не узгоджується з фізичною сутністю вибухового механізму розкидання породи для зарядів ВР з різною глибиною розміщення в ній. У цьому, очевидно, полягає певна некоректність формули (1).

У разі часткової забивки свердловин $\ell_{заб} \leq \ell_n$ і в проектному, і фактичному варіантах. Розглянемо формально вплив небезпечних ситуацій у свердловинному заряді на величину $\eta_{заб}$ за умови, що величина $\ell_{заб}$ завжди залишається постійною та рівною її проектному значенню $\ell_{заб n}$, а величина ℓ_n змінюється залежно від ситуації в свердловині.

При замулюванні чи засипанні свердловини на величину Δ_1 $\eta_{заб\phi} = \ell_{заб n} / (L_n - \Delta_1 - \ell_{3n})$, тобто зростає при збільшенні Δ_1 . Відповідно A_3 зменшується, що не є логічним. Абсолютно така ж закономірність має місце у разі виникнення пробки у свердловинному заряді.

При усадці заряду $\eta_{заб\phi} = \ell_{заб n} / (L_n + \Delta_3 - \ell_{3n})$ і зменшується зі збільшенням Δ_3 . A_3 при цьому, навпаки, зростає, що призводить до збільшення r_p . Ця обставина також є алогічною.

Загалом виявлені (ці та інші) алогічності свідчать про некоректність формули (1). Це питання потребує окремого поглибленого розгляду, а зараз лише зазначимо, що ця некоректність проявляється при $\eta_z \rightarrow 1,0$, коли дія верхньої частини свердловинного заряду відбувається з великими показниками викидання.

Насамкінець зазначимо, що застосування парно-зближених зарядів на кар'єрному уступі є небезпечним за розкиданням уламків породи. Справді, відстань між парно-зближеними зарядами може складати 5–6 діаметрів свердловини, унаслідок чого величина показника $\xi = d/a = 0,2$, а значення A_4 зростає до 0,45, тобто стає в 2,37 рази більшим порівняно з «нормальними» ($\xi = 0,19$) параметрами розміщення зарядів (див. рис. 2). Відповідно зростає і r_p .

Якщо для парно-зближених зарядів прийняти змінними їх еквівалентний діаметр $d_e = dN^{0,5}$ (N – число зближених свердловин), як це рекомендовано у [1], а відстань між центрами суміжних пар зарядів залишити постійною, тоді величини ξ і A_4 зростуть менш інтенсивно. При $N=2$, $d_e = 1,41d$, $\xi = 1,41/(20 \div 40) \approx 0,07 \div 0,035$, $A_4 \approx 0,1487 \div 0,265$, тобто дальність розльоту уламків породи зростає лише в $\sqrt{1,41} = 1,19$ рази порівняно з «нормальним» розміщенням свердловинних зарядів, що не є переконливим.

На рис. 3 наведено розрахункові залежності $r_p(f)$ для деяких характерних випадків розміщення свердловинних зарядів на кар'єрному уступі висотою 15 м. Параметри суцільних вертикальних свердловинних зарядів прийнято такими: глибина свердловин $L=18$ м, їх діаметр $d=0,25$ м, відстань між свердловинами $a=7$ м, $\xi=0,036$; для парно-зближених зарядів $a=0,5d$, $\xi = 0,2$. Розглянуто варіанти з повною забивкою ($\eta_{заб} = 1$), частковою забивкою ($\eta_{заб} = 0,5$) і відсутністю забивки зарядів ($\eta_{заб} = 0$). Із наведених даних випливає, що при вибухах із забивкою і без неї значення r_p змінюються в 1,41 рази при незмінних інших умовах. Змінювання a в зазначених межах призводить до зміни r_p значно більше – у 2,37 рази. Слід також вказати на те, що абсолютно такі ж залежності $r_p(f)$ мають місце при будь-якій глибині свердловин. А це свідчить про відсутність впливу глибини свердловини на величину r_p при постійних значеннях η_z та $\eta_{заб}$ що також є алогічним відносно фізичної дії некамуфлетного заряду.

Загалом слід зазначити, що формула (1) забезпечує коректні результати при «нормальних» параметрах розміщення свердловинних зарядів на кар'єрних уступах, які реально широко використовуються на практиці.

При розрахунку відстаней, безпечних за розкиданням окремих уламків породи при вибуху свердловинних зарядів, Правилами [1] рекомендується враховувати рельєф місцевості (косогірність, перевищення місця вибуху над границею небезпечної зони), шляхом введення відповідних

коефіцієнтів-множників до формули (1), а також можливість скочування кусків породи вздовж похилих поверхонь і вплив сили вітру на можливе збільшення дальності розльоту уламків породи. Конкретних рекомендацій щодо визначення впливу двох останніх чинників на збільшення величини розкидання породи Правила [1], на жаль, не наводять, а відповідно, їх вплив не є унормованим.

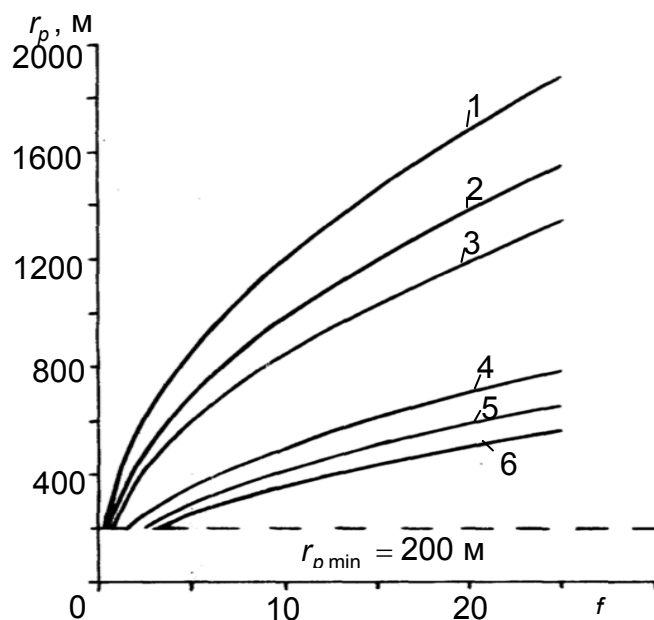


Рис. 3. Залежності $r_p(f)$ при різних a і $h_{заб}$: 1, 2, 3 - $h_{заб}=0, 0,5$ і $1,0$; $a = 5d$; 4, 5, 6 - $h_{заб}=0, 0,5$ і $1,0$; $a = 28d$

Для кар'єрних умов основним практичним заходом зменшення розкидання уламків породи є збільшення довжини забивки свердловинних зарядів породним матеріалом на всю її довжину. Змінювання інших геометричних і енергетичних параметрів менш ефективно.

При веденні вибухових робіт поблизу відповідальних споруд чи в межах житлової забудови для локалізації розкидання уламків породи застосовують спеціальні укриття, можлива конструкція, характеристика і розрахунок маси яких наведено в [3].

Безпечні відстані від місця вибуху до механізмів, будівель і споруд Правила [1] не визначають, а рекомендують встановлювати їх у проектах на вибух з урахуванням конкретних умов, проте як це практично здійснювати – невідомо. Ця невизначеність стосується вибухового дроблення порід свердловинними та зосередженими зарядами, а також вибухів на викидання та скидання.

Визначення безпечних відстаней за розльотом окремих кусків породи при вибухах на викидання, скидання та вибухах зосереджених зарядів рихлення у Правилах [1] детально обґрунтовано. Також є конкретні вимоги

щодо визначення відстаней, безпечних за висотою розльоту уламків породи (задля безпеки повітряного руху).

Нормативні документи з безпеки вибухової справи не регламентують і навіть не ставлять вимог щодо розкидання осколків при вибуху металевих стаціонарних і рухомих об'єктів з ВР, наприклад, ємностей-накопичувачів емульсійних матриць, змішувально-зарядних машин тощо. Вибух таких об'єктів може бути лише аварійним. Причини аварії – дорожньо-транспортна пригода, несправність транспортного засобу, зовнішнє інтенсивне механічне чи вибухове ураження та інші.

Закономірності вибухового дроблення металевих оболонок з ВР у загальному вигляді визначаються таким сполученням: «метал – ВР – геометрія» [3]. Якісно їх можна оцінити за аналогією руйнування осколково-фугасних снарядів, для яких повної теорії осколокоутворення досі не існує, про що свідчить значна кількість напівемпіричних формул. Так, відповідно до формули В. А. Одинцова, число осколків з масою понад 0,5 кг

$$N_{0,5} = K \frac{a}{\psi} d_o^2 D^2,$$

де K – коефіцієнт, який залежить від геометрії оболонки (для снаряда $K = 70 \div 100$);

a і ψ – коефіцієнт наповнення оболонки вибуховою речовиною і відносне звуження матеріалу оболонки (обидва в частках одиниці чи відсотках);

d_o – зовнішній діаметр оболонки, дм;

D – швидкість детонації заряду ВР, км/с.

Звідси видно, що кількість осколків різко зростає при збільшенні діаметра металевої оболонки та швидкості детонації ВР. Максимальна ж довжина та поперечний переріз (площа) осколка стабільно зменшується при збільшенні D .

Закони руху снарядного осколка:

поточна швидкість

$$V = V_o / (1 + AV_o t);$$

пройдений шлях

$$x = \ln(1 + AV_o t) / A,$$

де V_o – початкова швидкість осколка; t – час; A – балістичний коефіцієнт (розмірність m^{-1}), який визначається як:

$$A = (\rho_n \langle S \rangle c_x) / 2m,$$

де ρ_n – густина повітря;

$\langle S \rangle$ – середня площа міделя осколка;

c_x – коефіцієнт лобового опору осколка;

m – маса осколка.

Очевидно, якісно подібні співвідношення в кількості та балістиці осколків мають бути і для осколків, що утворюються при аварійних вибухах металевих ємностей з ВР, але їх кількісних значень виявити не вдалося.

Висновки

1. Як показав аналіз методик розрахунку зон ураження за розкиданням окремих уламків при вибуху свердловинних зарядів, необхідно жорстко дотримуватися тих проектних параметрів свердловинних зарядів, які забезпечують фактичну достатність величини r_p , а відповідно, й безпеку масового вибуху для його навколишнього оточення за цим показником.

2. Вищенаведений аналіз показав, що із чотирьох чинників впливу ($\eta_3, f, \eta_{заб}$, і $\xi = d/a$) найбільш значимими є η_3 і f . Зважаючи на те, що керувати міцністю породного масиву практично неможливо, основним регулятором впливу на величину безпечної відстані за розкиданням окремих уламків породи виступає коефіцієнт η_3 ; чинники $\eta_{заб}$ і d/a , кожен окремо, мають помітно менший вплив, але їх сумарний вплив може бути порівняним з впливом η_3 . Застосовуючи ці чинники принципово можливо знизити величину r_p до мінімальних значень, регламентованих правилами безпеки при вибухових роботах. Проте такий підхід у більшості випадків не є доцільним з позицій функціонального призначення вибуху – одержання гірничої маси заданої крупності та розпушення.

3. Для кар'єрних умов основним практичним заходом зменшення розкидання уламків породи є збільшення довжини забивки свердловинних зарядів породним матеріалом на всю її довжину. Змінювання інших геометричних і енергетичних параметрів є менш ефективним.

Список літератури

1. Правила безпеки під час поводження з вибуховими матеріалами промислового призначення, затверджені наказом Міненерговугілля України від 12.06.2013 р. № 355, зареєстровані Мін'юстом України 5 липня 2013 р. за № 1127/23659 (НПАОП 0.00-1.66-13).

2. Досягнення та перспективи наукових досліджень щодо безпечного поводження з вибуховими матеріалами // Проблеми охорони праці в Україні : зб. наук. праць. – К. : ННДІПБОП, 2009. – Вип. 16. – С. 8–16.

3. Технічні правила ведення вибухових робіт на денній поверхні; Затверджені наказом Міненерговугілля України від 18.07.2013 р. № 469, зареєстровані Мін'юстом України 5 серпня 2013 р. за № 1320/23852 (НПАОП 0.00-1.67-13)

4. Физика взрыва / С. Г. Андреев, А. В. Бабкин, Ф. А. Баум и др./ Под ред. Л. П. Орленко. – Изд. 3-е, переработанное. – В 2 т. – Т. 1. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2002. – 832 с.

Дата подання статті до збірника – 11.09.2016