

## МЕТОДИ ОСЛАБЛЕННЯ УДАРНО-ПОВІТРЯНИХ ХВИЛЬ ПІД ЧАС ВЕДЕННЯ ВИБУХОВИХ РОБІТ НА КАР'ЄРАХ

*М. В. Кривцов, докт. техн. наук, Т. Г. Дудковський, інж. (ННДІОП)*

*Рассмотрены процессы формирования и распространения ударно-воздушных волн. Проанализированы известные и перспективные методы ослабления взрывных волн при проведении взрывных работ на карьерах.*

Сучасне гірничовидобувне виробництво є однією з галузей, де активно використовується енергія вибуху. Основними небезпечними факторами під час ведення вибухових робіт є розкидання кусків породи, виділення пилу, отруйних газів і шкідливих речовин, утворення ударних повітряних хвиль (УПХ), які є небезпечними для людей та навколишнього середовища як поблизу вибуху заряду в кар'єрі, так і далеко за його межами. В більшості випадків у підірваній гірничій масі міститься певний об'єм негабаритних кусків. Для руйнування негабаритних кусків оптимальним є метод шпурових зарядів. Однак висока трудомісткість робіт [1] та небезпека для працюючих, особливо в зимовий період, змушує використовувати метод накладних зарядів. Тому на практиці для руйнування негабаритних кусків використовують як шпурові, так і накладні заряди [2].

Враховуючи викладене вище, удосконалення вибухових методів дроблення негабаритних блоків для зниження негативного впливу УПХ є актуальною науково-технічною задачею.

Мета статті – вивчення процесу формування та поширення УПХ для обґрунтування напрямків їх ослаблення при вибухових роботах на кар'єрах.

Як відомо, вибух заряду в повітрі супроводжується виділенням величезної кількості енергії [3], що приводить до інтенсивного підвищення температури і тиску продуктів вибуху. Внаслідок ударного стиснення повітря, що прилягає до заряду, виникають УПХ, швидкість поширення яких у цей момент наближається до швидкості розльоту продуктів вибуху. Інтенсивність УПХ залежить від умов вибуху. Якщо відкритий заряд вибухає в повітрі, то ударна хвиля має високий тиск на своєму фронті і поширюється з надзвуковою швидкістю. Слідом за нею, також з надзвуковою швидкістю, рухаються газоподібні продукти вибуху, температура яких досягає кількох тисяч градусів, а тиск – десятків МПа. Ударна хвиля і продукти вибуху поширюються в усі сторони від місця вибуху. Під час

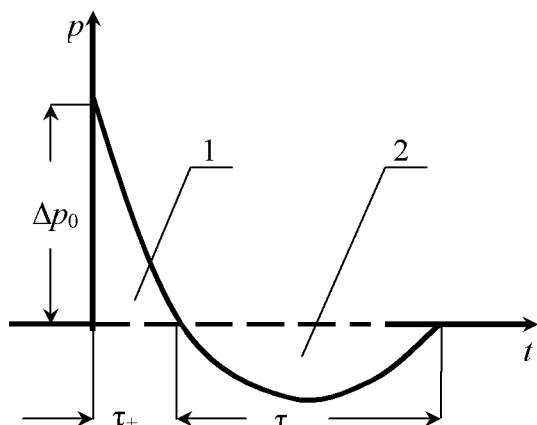


Рис. 1. Форма УПХ: 1 – зона стиснення; 2 – зона розрідження

момент наближається до швидкості розльоту продуктів вибуху. Інтенсивність УПХ залежить від умов вибуху. Якщо відкритий заряд вибухає в повітрі, то ударна хвиля має високий тиск на своєму фронті і поширюється з надзвуковою швидкістю. Слідом за нею, також з надзвуковою швидкістю, рухаються газоподібні продукти вибуху, температура яких досягає кількох тисяч градусів, а тиск – десятків МПа. Ударна хвиля і продукти вибуху поширюються в усі сторони від місця вибуху. Під час

розширення продуктів вибуху швидкість їхнього розльоту зменшується, і на відстані 8...15 радіусів заряду від центру вибуху відбувається відрив ударних хвиль від продуктів детонації [3]. При подальшому віддаленні ударної хвилі інтенсивність її падає, швидкість поширення зменшується, і у кінцевому рахунку вона переходить у звукову хвилю. Це відбувається внаслідок незворотних втрат енергії на шляху поширення хвилі, а також через збільшення маси повітря, що втягується ударною хвилею в рух. Починаючи з відстані в 20...50 радіусів заряду, швидкість УПХ, яка залежить від температури повітря, напрямку та швидкості вітру, знижується до звукової.

На рис. 1 представлено УПХ, яка складається з зони стиснення і зони розрідження [3, 4]. Основними факто-рами, що визначають руйнівну дію повітряних хвиль, є:  $\Delta p_0$  – максимальний надлишковий тиск на фронті ударної хвилі (тиск, вищий за атмо-сферний);  $\tau_+$  – тривалість фази стиснення;  $\tau_-$  – тривалість фази розрідження.

Передня частина ударної хвилі (її фронт) поширюється, як правило, зі швидкістю, що перевищує звукову. Ударна хвиля, що поширюється, викликає рух за її фронтом повітряного потоку, тиск у якому з віддаленням від фронту знижується до атмосферного, а потім стає нижчим за атмосферний (зона розрідження).

Імпульс  $I$  фази стиснення визначають за формулою

$$I = \int_0^{\tau_+} p d\tau. \quad (1)$$

Оскільки імпульс фази за формою близький до прямокутного трикутника, то його можна виразити залежністю

$$I = 0,5\Delta p_0\tau_+. \quad (2)$$

Аналіз залежності (2) показує, що величина  $I$  має пропорційний зв'язок з параметрами  $\Delta p_0$  та  $\tau_+$ , а це означає, що регулювання величини  $I$  можливе за рахунок  $\Delta p_0$  та  $\tau_+$ .

На основі досліджень [5] технологічних вибухів у підземних і відкритих гірничих виробках отримано емпіричні формули, які описують зміну максимального тиску  $\Delta p$ , питомого імпульсу тиску  $I$  та тривалості  $\tau_+$  фази стискання УПХ залежно від маси заряду та відстані від місця вибуху. На величину згаданих параметрів УПХ впливають тип ВР, її щільність, швидкість детонації, форма і маса зовнішньої оболонки заряду, положення заряду відносно земної поверхні. Дослідженнями [3] показано, що на характер поширення УПХ, починаючи з відстаней в 20...50 радіусів заряду від центру вибуху, значною мірою впливає швидкість, температура та напрямок руху повітря. За певних погодних умов хвиля може відхилитися до поверхні або від поверхні землі.

Температурні зміни в атмосфері зображають за двома схемами [3]. У першому випадку температура  $T$  знижується зі збільшенням висоти  $h$  ( $dT / dh < 0$ ), тобто маємо негативний температурний градієнт, що приводить

до зменшення швидкості звуку зі збільшенням висоти. Така зміна температури зі зміною висоти є нормальною і найбільш сприятливою для проведення вибухів, оскільки хвиля поширюється вгору, а її струмені не доходять до землі і тому не відбиваються від неї (рис. 2, *a*).

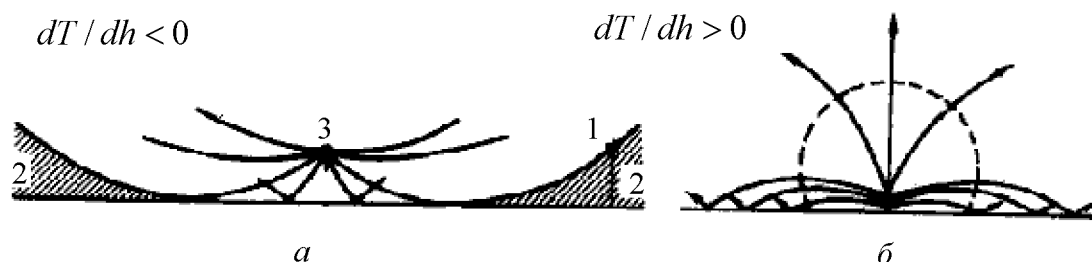


Рис. 2. Струменеві діаграми поширення звукових хвиль в атмосфері: *a* – негативний температурний градієнт; *б* – позитивний температурний градієнт; 1 – датчик звукового тиску; 2 – зона тіні; 3 – місце вибуху

У другому, аномальному, випадку температура повітря підвищується з висотою ( $dT/dh > 0$ ), має місце позитивний температурний градієнт або температурна інверсія. Підвищення температури в інверсійному шарі може змінюватися від десятої частки градуса до 20 °С і більше. Потужність інверсійного шару змінюється від десятків до кількох сотень метрів. При позитивному температурному градієнті відбувається відхилення УПХ у напрямку землі і можливе фокусування вибухових хвиль (рис. 2, *б*).

На кар'єрах України були виконані тестові експериментальні вимірювання для встановлення діапазону та інтенсивності УПХ залежно від погодних умов. Вимірювання здійснювали за відомою методикою з фіксуванням тиску на фронті УПХ при різних температурах атмосферного повітря. На рис. 3 зображено залежність  $P = FR$ .

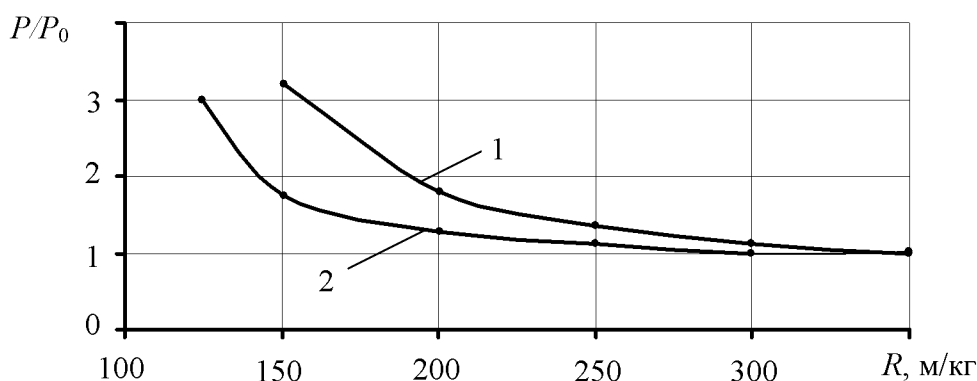


Рис. 3. Залежність відносного тиску  $P/P_0$  від приведеної відстані  $R$  при вибуху накладних зарядів загальною масою 10...20 кг: 1 – при  $t = 15$  °С; 2 – при  $t = 25$  °С

Аналіз наведених на рис. 3 залежностей показав, що при температурі повітря 15 °С відносний тиск на фронті УПХ на відстані  $R = 7,5$  м в півтора рази менший, ніж при температурі 25 °С. З віддаленням від центра вибуху тиск

зменшується і на відстані  $R = 17,5$  м наближається до атмосферного, при різних температурах.

Таким чином, УПХ, яка виникає від вибуху заряду ВР, досить чутлива до багатьох чинників, причому у міру віддалення від джерела вибуху значення факторів, які впливають на параметри УПХ, зростає. Тому необхідно більш глибоко вивчати механізм формування та поширення УПХ під час вибуху зарядів ВР.

Як відомо [6], найважливіша властивість ударної хвилі – надлишковий тиск на її фронті, який дорівнює перевищенню повного її тиску над нормальним тиском повітря. Ударна хвиля з тиском  $2 \cdot 10^5$  Па смертельна для людини, тиск понад  $2 \cdot 10^4$  Па призводить до важких травм. При тиску більше  $5 \cdot 10^4$  Па відбувається руйнування капітальних будівель. Для захисту об'єктів від дії кусків руйнованого середовища, ударних повітряних хвиль, сейсмічної дії, шкідливих газів встановлюють безпечні відстані [7] і вживають спеціальних заходів щодо зниження негативної дії вибуху.

Для збільшення тривалості впливу продуктів детонації на породу і зменшення частки енергії, що передається у повітря, застосовують короткоуповільнене підривання та забивку з дрібнодисперсних пористих матеріалів [8].

Для ослаблення вибухових хвиль у повітрі використовують концентровані багатофазні вибухопоглинаючі матеріали, наприклад покривала з водяної піни густиною  $\sigma = 2 \dots 20$  кг/м<sup>3</sup> [9, 10].

Оцінка ефективності захисту від дії УПХ [11] в дальній зоні вибуху при розміщенні зарядів ВР у газонаповнених оболонках було виконано на основі порівняння амплітуд вибухових хвиль від відкритого заряду та від заряду в захисній оболонці. Ці порівняння показали, що для водяно-повітряних пін густиною  $2 \leq \sigma \leq 20$  кг/м<sup>3</sup> ступінь ослаблення вибухових хвиль за амплітудою коливається в діапазоні  $K_{\max} \leq 12 \dots 15$  [12].

Встановлено, що при ослабленні вибухових хвиль захисними оболонками важлива роль належить інерційності та стисливості матеріалу наповнювача.

Таким чином, найбільш ефективним науковим напрямком для розроблення методів ослаблення УПХ під час ведення вибухових робіт в кар'єрах є вивчення процесу формування та поширення УПХ з використанням концентрованих багатофазних вибухопоглинаючих матеріалів.

1. *Кривцов Н. В.* Методы додрабливания негабаритных фракций в карьерах и перспективы их развития // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету: Зб. наук. пр. – Кременчук. – 2002. – Вип. 2 (13). – С. 50–54.

2. *Бызов В. Ф., Великий М. И., Черканос А. И. и др.* Разрушение негабаритных кусков горных пород. – К.: Техника, 1986. – 135 с.

3. *Цейтлин Я. И., Смолий Н. И.* Сейсмические и ударные воздушные волны промышленных взрывов. – М.: Недра, 1981. – 192 с.

4. *Охорона праці:* Навч. посібн. / К. Н. Ткачук, А. О. Гурін, П. В. Бересневич та ін. – К., 1998. – 320 с.

5. *Поплавський В. А.* Локалізація вибухових повітряних хвиль накладного заряду // Проблеми охорони праці в Україні: Зб. наук. праць. – К.: ННДІОП. – 2003. – Вип. 7. – С. 38–45.

6. *Турута Н. У., Лучко І. А., Поплавський В. А.* Взрыв и его мирные профессии. – К.: Наук. думка, 1974. – 172 с.

7. *Единые правила безопасности при взрывных работах.* – К.: Норматив, 1992. – 171 с.

8. *Кривцов Н. В., Ковтун А. И.* Обеспечение охраны труда и технико-экономическая эффективность при разрушении крупнокускового материала (ККМ) взрывом // Зб. матер. II Української конф. з охорони праці”. – К., 1998. – С. 228–234.

9. *Кудинов В. М., Паламарчук Б. И., Гельфанд Б. Е. и др.* Параметры ударных волн при взрыве заряда ВВ в пене // Доклады АН СССР. – 1974. – Т. 228. – № 4. – С. 555–558.

10. *Гельфанд Б. Е., Сальников М. В.* Выбор оптимальной схемы подавления воздушных ударных волн при взрыве ВВ // Доклады АН Украины. – 2002. – Т. 383. – № 1. – С. 37–39.

11. *Гельфанд Б. Е., Сальников М. В., Михайлин А. Н. и др.* Ослабление воздушных ударных волн при взрыве зарядов взрывчатого вещества в объеме жидкости, ограниченном эластичной оболочкой // Физика горения и взрыва. – 2001. – Т. 37. – № 5. – С. 128–133.

12. *Паламарчук Б. И., Постнов А. В.* Затухание ударных волн при взрыве ВВ, помещенных в газосодержащие оболочки // Применение энергии взрыва в сварочной технике. – К.: ИЭС АН УССР – 1989. – С. 93–41.