

Незважаючи на успішні випробування HeCl “Нонель–Юнідет” на ДПВП “Кривбасвибухпром”, питання доцільності її масового впровадження в умовах ВАТ “Полтавський ГЗК” вимагає детального пророблення. До цього часу не розв’язані питання застосування HeCl, зокрема можливість її суміщення з ВР типу “Акватол”, безпека розміщення системи в поліетиленових рукавах, ефективність використання внутрішньосвердловинних сповільнювачів та ін. Однак необхідність підвищення економічних показників роботи гірничо-транспортного комплексу вимагає заміни традиційних засобів підривання на нові, більш ефективні.

Відповідно до виконаних розрахунків очікувана економія від заміни традиційних засобів підривання на систему “Нонель–Юнідет” становитиме 8 грн. з однієї свердловини. При річному об’ємі підривання біля 40000 свердловин економія становитиме 320 тис. грн./рік.

1. *Гравевский М.М., Кутузов Б.Н.* Технично-экономическое сопоставление электрических и неэлектрических систем инициирования зарядов ВВ // Горный журнал. – № 5. – 2000. – С. 54–59.

2. *Инструкция по эксплуатации системы “Нонель”/ Шведский институт испытаний и исследований, 1998. – 55 с.*

УДК 622. 235

## **ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ ДЕТОНАЦІЇ КОМБІНОВАНИХ ЗАРЯДІВ ВИБУХОВИХ РЕЧОВИН**

*І.В. Косьмин, інж. (ЗАТ “Техновибух”)*

*Приведены результаты экспериментов по определению давления и скорости детонации при взрывах сплошных комбинированных зарядов взрывчатых веществ в полигонных и промышленных условиях. Используются аммонит БЖВ, гранулит АС-8, граммониты 30/70 и 50/50В, игданит и игданит с добавкой БН-III. Установлено изменение детонации по длине заряда для различных сочетаний указанных взрывчатых веществ.*

Застосування комбінованих зарядів, що складаються з різних типів вибухових речовин (ВР), дозволяє забезпечити більш рівномірний розподіл енергії вибуху по висоті руйнованого уступу порід і, отже, підвищити інтенсивність та рівномірність дроблення гірської маси без збільшення виходу переподібнених фракцій [1–5].

Установлено, що максимальний фізичний ефект процесу детонації комбінованого заряду ВР спостерігається тоді, коли його складові частини різко відрізняються за своїми характеристиками [1, 3, 4]. Економічна ефективність

застосування таких зарядів обумовлена зниженням затрат на дорогі ВР. Тому використання зарядів такої конструкції в сучасних умовах ведення вибухових робіт є актуальним і потребує розширення знань у даній області.

Для раціонального проектування і досягнення стабільних параметрів підривних робіт, що забезпечують максимально можливу трансформацію енергії вибуху в руйнований масив порід, необхідно в кожному конкретному випадку знати детонаційні характеристики ВР. З цієї метою виконано велику кількість експериментів, в основному, в лабораторних і полігонних умовах. Експерименти проводилися, як правило, з використанням укорочених зарядів з однотипних ВР [8, 9] і комбінованих зарядів, складених з двох типів ВР [10, 11].

Метою експериментів було вимірювання швидкості детонації  $D_{\text{вв}}$  і тиску  $P$ , а також визначення характеру зміни цих параметрів по довжині комбінованих зарядів, що складаються з різних типів ВР.

Швидкість детонації визначалася при вибухах зарядів ВР різних конструкцій (рис. 1) у дюралюмінієвих трубах діаметром 140 мм, довжиною 4 м і товщиною стінки 10 мм на уступі покривних порід кар'єру "Селище-2" (Ровенська область), а також у свердловинах діаметром 215 мм, довжиною 8–10 м при підриванні вапняків (Ізраїлівський кар'єр) і довжиною 12–15 м при підриванні гранітів (кар'єр "Селище-2"). Як ВР використовувалися амоніт 6ЖВ, грамоніт 50/50В, ігданіт та ігданіт з добавкою БН-III. Маса заряду ВР змінювалася при вибухах у трубах від 45 до 50 кг, у свердловинах на вапняковому кар'єрі – від 90 до 102 кг і на гранітному кар'єрі – від 350 до 420 кг. Довжина кожної частини ВР комбінованого заряду змінювалася в межах 0,5–1,5 м. Заряди ВР ініціювались за допомогою детонувального шнура (ДШ) і тротилової шашки. При цьому частини ВР, які сприймали детонацію від ДШ, розміщалися в гумових трубах.

Величина  $D_{\text{вв}}$  розраховувалася за результатами вимірювань, виконаних згідно з відомою методикою [12, 13] за допомогою іонізаційних датчиків і частотоміра Ф-5041 (рис. 2). При цьому база вимірювань  $L$  у свердловинах довжиною 8 м становила 0,5 м, у свердловинах довжиною 12 м і в трубах – 0,3 м.

Для реєстрації профілів ударних хвиль (УХ) застосовувалися тензорезистори прямокутного перерізу з манганіну опором 100–200 Ом. Електрична схема включала різниці (диференціальні) підсилювачі (рис. 3). Залежність опору манганінового дроту від тиску є практично лінійною, що дозволяє використовувати цей матеріал у датчиках для вимірювання характеристик швидко протікаючих динамічних процесів.

Перед проведенням експериментів здійснювалось балансування схеми,

щоб виконувалася умова  $R_{\text{д}} = \sum_{i=1}^3 R_i = R_1 + R_2 + R_3$ .

Величина тиску  $P$  при вибухах комбінованих зарядів, що складаються з двох типів ВР (амоніту 6ЖВ і грамоніту 30/70), розраховувалась за формулою

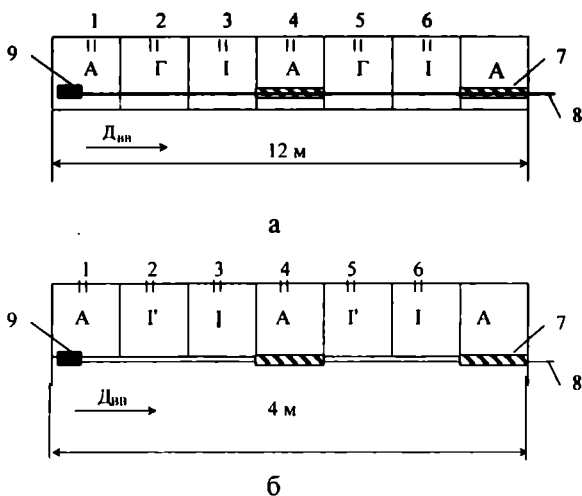


Рис. 1. Конструкції комбінованих зарядів ВР: а – при вибухах у свердловинах; б – те ж. у діоралюмінієвих трубах; 1...6 – точки вимірювання; 7 – гумова трубка; 8 – ДПІ; 9 – бойвик; А – амоніт 6ЖВ; Г – грамоніт 50/50В; І – ігданіт; Г' – ігданіт з добавкою БН-III

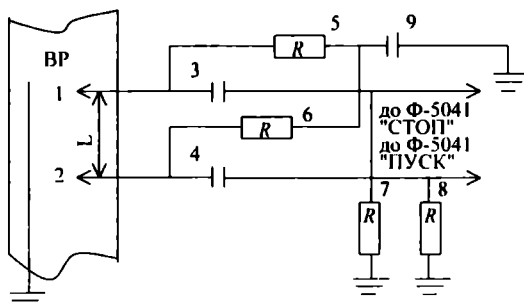


Рис. 2. Електрична схема підключення вимірювального каналу до частотоміру Ф-5041: 1, 2 – голки датчика; 3, 4 – конденсатори малої ємності; 5, 6 – зарядні опори; 7, 8 – опори; 9 – джерело струму

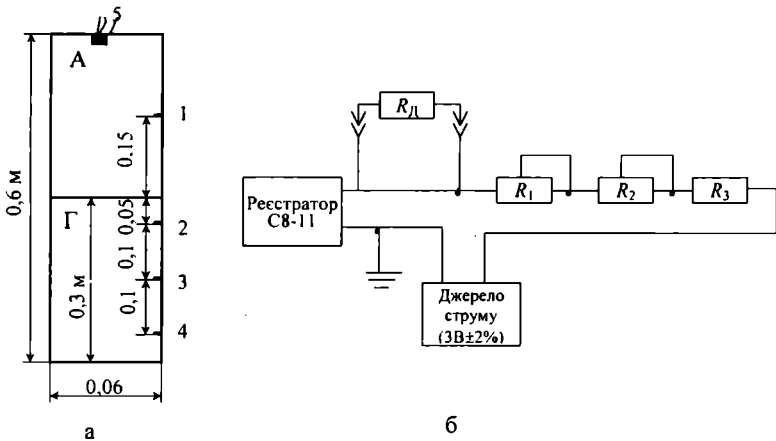


Рис. 3. Схеми розміщення датчиків у заряді (а) та включення датчиків у вимірювальне коло (б): 1, ..., 4 – датчики; 5 – електродетонатор; А – амоніт 6ЖВ; 1' – грамоніт 30/70;  $R_{д}$  – опір тензорезисторного датчика;  $R_1$  і  $R_2$  – опори резисторів регулювання балансу "грубо" і "точно";  $R_3$  – опір додаткового резистора

$$P = \varepsilon_R / K_6, \quad (1)$$

де  $\varepsilon_R$  – відносний опір датчика ( $\varepsilon_R = \Delta R_{д} / R_{д}$ );  $K_6$  – баричний коефіцієнт манганінового датчика ( $K_6 = 27 \cdot 10^{-6} \text{ МПа}^{-1}$ ).

Тоді

$$P = 3,7 \cdot 10^4 (\Delta R_{д} / R_{д}). \quad (2)$$

Напряга на датчику визначалася за законом Ома:

$$U_{д} = (U_{н} R_{д}) / (R_{д} + R), \quad (3)$$

де  $U_{н}$  – номінальна напряга мережі, В;  $R$  – загальний опір мережі, Ом.

Відносний опір датчика розраховувався за формулою

$$\Delta R_{д} / R_{д} = (2U_{д} - U_{н}) / (U_{н} - U_{д}). \quad (4)$$

Заряди ВР підривались у металевих трубах довжиною 0,6 м, діаметром 0,06 м і товщиною стінок 0,005 м. Маса ВР одиничного заряду становила 2,5 кг. Датчики устанавлювались по довжині заряду в чотирьох точках через отвір у трубі (рис. 3, а). В амоніті 6ЖВ датчик № 1 розмішався посередині, у грамоніті 30/70 датчик № 2 – на відстані 0,005 м від межі поділу ВР, датчики № 3 і № 4 – на відстані 0,1 м один від одного і від датчика № 2. Це дозволило простежити характер зміни значень  $P$  по довжині заряду в процесі його детонації.

Експериментальні вибухи комбінованих зарядів ВР виконувались за

наведеною вище методикою. При цьому значення швидкості детонації  $D_{ВВ}$  і тиску  $P$  визначалися як середньостатистичні за трьома або чотирма вимірами. За результатами обробки даних (табл. 1) будувалися графічні залежності  $D_{ВВ} = f(l_z)$  і  $P = f(l_z)$ , де  $l_z$  – довжина заряду, м.

Таблиця 1. Середні значення  $D_{ВВ}$  у послідовності розміщення ВР різних типів по довжині заряду

Тип ВР	$D_{ВВ}$ , м/с	Тип ВР	$D_{ВВ}$ , м/с
при вибухах у свердловинах		при вибухах у трубах	
амоніт 6ЖВ	4487	амоніт 6ЖВ	4505
грамоніт 50/50В	3757	ігданіт з БН-III	3443
ігданіт	3154	ігданіт	3037
амоніт 6ЖВ	4373	амоніт 6ЖВ	4435
грамоніт 50/50В	3728	ігданіт з БН-III	3210
ігданіт	3152	ігданіт	3011

На рис. 4 показано характер зміни значень  $D_{ВВ}$  залежно від довжини заряду, складеного з ВР трьох типів. З аналізу цього рисунка очевидно, що розмір  $D_{ВВ}$  змінюється по довжині заряду. У загальному випадку, в міру поширення детонації по заряду, спостерігається тенденція незначного зниження значень  $D_{ВВ}$ . Зниження  $D_{ВВ}$  для амоніту 6ЖВ не перевищує 2,5 %, грамоніту 50/50В – 0,8 % і ігданіту – 0,1 % (при вибухах у свердловинах); амоніту 6ЖВ – 1,6 %, ігданіту з домішкою БН-III – 3,9 % і ігданіту – 0,9 % (при вибухах у трубах).

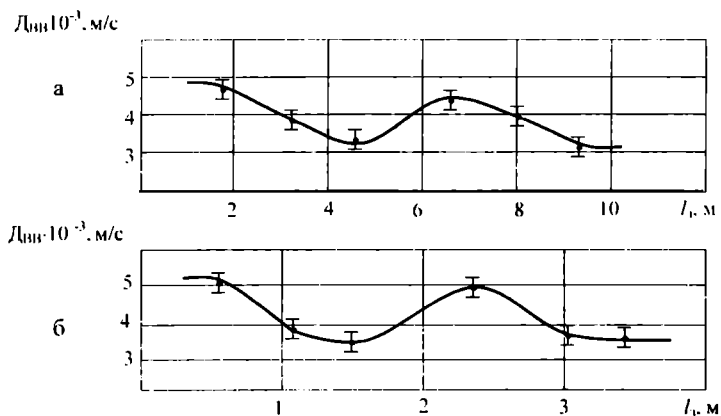


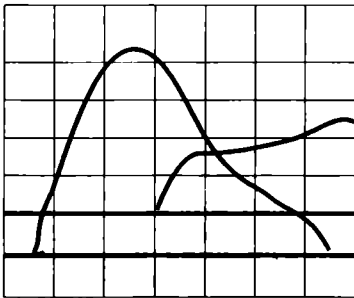
Рис. 4. Зміна значень  $D_{ВВ}$  при вибухах у свердловинах (а) і металевих трубах (б) по довжині заряду  $l_z$

Отримані експериментальні дані про закономірності поширення детонації по заряду, що складається з ВР різної потужності, доповнюють деякі висновки праці [14]. При цьому перехід від великої швидкості детонації до малої, і навпаки, має стрибкоподібний характер: у першому випадку зі зменшенням, в другому – зі збільшенням значень  $D_{\text{ВВ}}$  від межі поділу в напрямку перехідної зони.

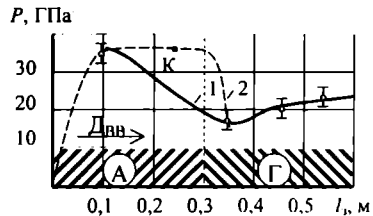
Імпульс тиску на фронті УХ при вибухах зарядів у сталевих трубах довжиною 0,6 м фіксувався на екрані осцилографа (рис. 5, а). Проведено 8 вибухів (вимірювання виконувались разом із В.Й. Кононенко). Заряди підривались в умовах глиняного кар'єру (м. Сміла Черкаської обл.). Вимірювання виконувались двома датчиками. Результати обробки осцилограм і розраховані за ними середні значення  $P$  наведено в табл. 2. За результатами експериментів встановлено функціональну залежність зміни величини  $P$  по довжині заряду ВР (рис. 5, б).

Таблиця 2. Результати розрахунку величини  $P$  при підриванні зарядів у сталевих трубах

№ точки вимірювання	Відстань від ініціатора до датчика, м	Відносний опір датчика $\Delta R / R$	Амплітуда $A = \Delta U_{\text{д}}$ , м	Тиск $P$ , ГПа
1	0,10	0,86	450	31,8
2	0,35	0,38	240	14,1
3	0,45	0,48	290	17,8
4	0,55	0,50	300	18,5



а



б

Рис. 5. Характерний запис на осцилограмі профілів імпульсів тиску (а) та зміна тиску по довжині комбінованого заряду (б): 1 – крива  $P = f(l_n)$ , побудована за експериментальними даними; 2 – очікувана крива  $P = f(l_n)$ , побудована для випадку розміщення датчика в точці К; А – амоніт БЖВ; Г – грамоніт 30/70; стрілкою показано напрямок детонації

Аналіз табл. 2 і осцилограми (рис. 5, б) показує, що величина  $P$  по мірі віддалення від точки ініціювання змінюється за нелінійною залежністю (крива 1). При цьому максимальний тиск (31,8 ГПа) спостерігається при детонації заряду в області А (амоніт 6ЖВ), а мінімальний (14,1 ГПа) – в області Г (грамоніт 30/70). Область Г є перехідною зоною від більш потужного ВР до менш потужного. З віддаленням від межі поділу ВР на відстань  $4,2d_1$  (де  $d_1$  – діаметр заряду) величина  $P$  зростає до 18,5 ГПа (точка вимірювання № 4) і з подальшим збільшенням довжини заряду залишається, очевидно, в цих межах.

У точці К (див. рис. 5, б) показана очікувана величина  $P$ , характер зміни якої поданий кривою 2 (пунктирна лінія).

У загальному випадку при поширенні детонації від амоніту 6ЖВ до грамоніту 30/70 величина  $P$  в перехідній зоні (точка вимірювання № 2) зменшується на 49,7 %, тобто практично в 2 рази, а за цією зоною (у точці виміру № 4 – номінальному режимі детонації) – на 41,8 % або в 1,7 рази.

### Висновки

1. Визначено зміну швидкості детонації і тиску по довжині комбінованих зарядів у різних умовах підривання. Швидкість детонації вимірювалась у свердловинах (при підриванні зарядів, складених з ВР двох типів) і дюралюмінієвих трубах (при підриванні зарядів, складених з ВР трьох типів); тиск визначався у сталевих трубах (заряди складалися з ВР двох типів). Виявлено, що значення  $D_{\text{ВВ}}$  і  $P = f(l, \dots)$  змінюються за нелінійною залежністю. Максимальні значення  $D_{\text{ВВ}}$  і  $P$  спостерігаються при вибухах найбільш потужних, а мінімальні – найменш потужних ВР. Проміжні значення зазначених параметрів детонації виявлені в перехідних зонах менш потужних ВР.

2. Установлено, що зі збільшенням довжини заряду, складеного з різнотипних ВР, швидкість детонації зменшується в незначній мірі: при вибухах у свердловинах амоніту 6ЖВ – на 2,5 %, грамоніту 50/50В – на 0,8 % і ігданіту – на 0,1 %; при вибухах у дюралюмінієвих трубах амоніту 6ЖВ – на 0,2 %, ігданіту з домішкою БН-ІІІ – на 6,8 % і ігданіту – на 0,9 %.

3. Тип оболонки зарядів ВР практично не впливає на швидкість детонації. При підриванні амоніту 6ЖВ в свердловинах величина  $D_{\text{ВВ}}$  була меншою на 0,9 % порівняно з вибухами в трубах, для ігданіту, навпаки, більшою на 4,1 %. Очевидно, що таке зниження значень  $D_{\text{ВВ}}$  знаходиться в межах помилки вимірювань.

4. Показано можливість застосування манганінових датчиків для реєстрації профілю тиску при детонації зарядів ВР.

5. Отримано експериментальну залежність  $P = f(l, \dots)$ , згідно з якою тиск при переході детонації від амоніту 6ЖВ до грамоніту 30/70 знижується в 1,7–2 рази.

6. Експериментально виявлена зміна значень  $D_{\text{ВВ}}$  і  $P$  по довжині комбінованого заряду може бути використана в проектах масових вибухів при виборі раціональних конструкцій зарядів з метою визначення та оптимізації

інших параметрів, які обумовлюють необхідну якість дроблення гірських порід.

1. *Ресурсосберегающие технологии взрывного разрушения горных пород* / Э.И. Ефремов, В.М. Комир, И.А. Краснопольский, В.П. Мартыненко. – К.: Техника, 1990. – 149 с.

2. *Вольнец М.А.* Исследование эффективности сплошных комбинированных зарядов с постоянным диаметром // Взрыв. дело. – М.: Недра, 1971. – № 70/27. – С. 114–116.

3. *Эффективность каскадного инициирования комбинированных скважинных ВВ* / В.Д. Воробьев, И.Ф. Гончар, Н.В. Кривцов, В.П.Куриной // Автодорожник Украины. – К.: Техника, 1975. – №1. – С. 35–38.

4. *Воробьев В.Д., Куринной В.П., Гончар И.Ф. и др.* Исследование процесса детонации комбинированных скважинных зарядов и эффективности их применения при разрушении гранитов // Изв. вузов. Горн. журнал. – 1977. – № 2. – С. 82–90.

5. *Кучерявый Ф.И., Олейников А.С., Лысяк В.Г. и др.* Эффективность применения комбинированных зарядов при разрушении скальных пород // Разруб. рудн. месторождений. – К.: Техника, 1975. – Вып. 19. – С. 31–35.

6. *Гидроизолированные заряды неводоустойчивых ВВ при взрывах* / В.Д. Воробьев, А.И. Крючков, В.С. Прокопенко, И.В. Косьмин // Уголь Украины. – К.: Техника, 1998. – № 10. – С. 15–18.

7. *Прокопенко В.С.* Расчет параметров массовых взрывов скважинных зарядов в оболочках // Уголь Украины. – К.: Техника, 2000. – № 1. – С. 24–28.

8. *Бахтин Г.А., Коган В.Л.* Исследование детонации водонаполненных ВВ на основе нагретого раствора аммиачной селитры // Взрыв. дело. – М.: Недра, 1971. – № 70/27. – С. 23–27.

9. *Колесниченко И.Т., Дубнов Л.В.* Исследование полноты и скорости детонации гранулитов, зерногранулитов и акваолов // Взрыв. дело. – М.: Недра, 1971. – № 70/27. – С. 31–43.

10. *Друкованый М.Ф., Комир В.М., Белоконь В.П. и др.* Некоторые особенности детонации гранулированных ВВ // Взрыв. дело. – М.: Недра, 1971. – № 70/27. – С. 5–10.

11. *Комир В.М., Тутов Н.Г., Оберемок О.Н. и др.* Об эффективности контактной передачи детонации в комбинированных зарядах гранулированных ВВ // Взрыв. дело. – М.: Недра, 1971. – № 70/27. – С. 8–31.

12. *Методы и способы регистрации действия взрыва в горных породах* / М.Ф. Друкованый, Л.Ф. Петрашин, В.П. Белоконь, Г.В. Кузнецов. – К.: Наук. думка, 1971. – 164 с.

13. *Моделирование разрушающего действия взрыва в горных породах* / В.М. Комир, Л.М. Гейман, В.С. Кравцов, Н.И. Мячина. – М.: Наука, 1972. – 216 с.

14. *Юхансон К., Персон П.* Детонация взрывчатых веществ. – М.: Мир, 1973. – 325 с.