УДК 622.235.5:331.452

РОЗРОБКА БЕЗПЕЧНОГО ТА ЕФЕКТИВНОГО МЕТОДУ ВИБУХОВОЇ ВІДБІЙКИ ОБВОДНЕНИХ ГІРСЬКИХ ПОРІД

А. П. Пашков, канд. техн. наук (ННДІОП)

Разработан новый метод подготовки обводненных скважин с предварительным их обезвоживанием взрывами донных зарядов, обеспечивающий безопасное и надежное заряжание в скважины взрывчатых веществ.

Відомо, що частота відмов свердловинних зарядів і вихід негабариту значною мірою залежать від гірничотехнічних умов, зокрема обводненості і блочності порід. Тому більшість відмов мають місце саме в обводнених смердловинах, де формування стовпа заряду за проектом, як правило, утруднюється внаслідок малої насипної щільності гранульованих вибухових речовин (ВР), що може призвести до утворення пробок із ВР на межі розділу вода–повітря [1]. Щорічно на залізорудних кар'єрах Кривбасу фіксується до 150 відмов свердловинних зарядів. На всіх обводнених кар'єрах спостерігаються випадки неповної детонації ВР навіть при порівняно потужних бойовиках у верхній і нижній частинах заряду. Наявність відмов підтверджується виявленням у перебурах свердловин ВР, навіть гранулотолу чи акватолу Т-20Г, змішаних з буровим шламом. Кількість відмов свердловинних зарядів збільшується з ростом глибини кар'єру і збільшенням об'єму обводненого блока внаслідок збільшення часу на заряджання блоку і часу впливу на ВР і засоби ініціювання (ЗІ) атмосферних та грунтових вод.

Аналіз останніх досліджень, присвячених питанням підвищення ефективності масових вибухів в обводнених умовах [2–5], дозволяє зробити висновок про те, що основними причинами низької якості дроблення масиву та одиночних відмов зарядів є:

утворення «пробок» із ВР на межі розділу вода–повітря, що веде як до розташування проміжного детонатора у воді без ВР, так і до значного зниження проектної висоти забійки. Це призводить до передчасного викиду в атмосферу продуктів детонації (ПД) з осколками порід, підбою магістральних та секційних ниток детонаційного шнура (ДШ) і зрушення найбільш порушеної верхньої частини порід дією вибуху попередніх секцій;

флегматизація ВР буровим шламом внаслідок недостатнього очищення свердловини від шламу перед заряджанням і тиску стовпа води, що витісняється ВР, на шламову кірку, утворену на поверхні свердловини. Це веде до низькошвидкісних режимів детонації, вигоряння ВР чи припинення детонації;

наявність мінералізованої підземної води у свердловинах зі значною фільтрацією і тривале перебування в них ВР спричиняє винос розчинних компонентів ВР або їх взаємодію з мінералізованою водою і утворення різних сполук у вигляді солей та інертних домішок. Це призводить до втрати енергії

заряду ВР, порушення кисневого балансу ВР і зниження надійності та безпеки підривання в обводнених умовах;

порушення проекту буро-підривних робіт (БПР) і технічних умов (ТУ) при застосуванні грамонітів 79/21 ГС, 50/50 в обводнених свердловинах (грамоніти 79/21 та 79/21 ГС призначені для заряджання тільки сухих і збезводнених свердловин, а грамоніт 50/50 – для заряджання сухих і обмежено обводнених свердловин);

порушення цілісності оболонки ДШ чи гідроізоляційного шару шашок Т-400Г, замокання навіски тену (гексогену) і нитки ДШ чи шашок;

дефекти ЗІ та низька якість заряджання обводнених свердловин.

Істотне підвищення безпеки та ефективності вибухової відбійки в обводнених умовах може бути досягнуте шляхом осушення свердловин перед заряджанням. Однак низька продуктивність осушувальних установок (25 свердловин за зміну), а також присутність у воді абразивних частинок бурового шламу, що призводить до засмічення і частих поломок насосів, стримує широке застосування таких машин у кар'єрах [4].

У цих умовах розробка нової безпечної та ефективної технології ведення підривних робіт з попереднім осушенням свердловин є дуже важливим і прогресивним напрямком. На правильність даного напрямку вказує досвід США, де головною тенденцією в удосконаленні технології підривних робіт є зниження тривалості заряджання обводнених свердловин і перебування в них ВР. Тому перед заряджанням свердловин навіть найпростішими, частково водостійкими або емульсійними ВР воду з них видаляють [5].

Стаття присвячена способу осушення обводнених свердловин донними зарядами. Задача дослідження параметрів вибухової хвилі зводиться до вибуху невеликого сферичного заряду ВР ($l_{зар} \le 5d_{зар}$) під стовпом води в свердловині.

Під час вибуху донного заряду в обводненій свердловині існують такі граничні поверхні: поверхні розділу ПД–вода, вода–стінка свердловини, фронт хвилі стиску. На поверхні розділу ПД–вода зазнають розриву щільність, ентропія і внутрішня енергія частинок, у той час як тиск і швидкість змінюються неперервно. Таким чином, на поверхні «газового пузиря» повинно виконуватися співвідношення

$$V_{ПД} = V_{води};\ P_{ПД} = P_{води},$$

де $P_{води}$ і $V_{води}$ – тиск і швидкість води.

На хвилі стискання зазнають розриву усі параметри течії. Однак на фронті хвилі справджуються інтегральні закони збереження маси, імпульсу та енергії. При поширенні хвилі по нерухомій рідині ці співвідношення можна записати так:

$$D\rho_0 = \rho_{уд}(D - V_{уд});\ P_{уд} - P_0 = \rho_0 D V_{уд},$$

де D – швидкість детонації ВР; ρ_0 – щільність ВР; $\rho_{уд}$, $V_{уд}$, $P_{уд}$ – відповідно щільність, швидкість і тиск на фронті ударної хвилі.

Надлишковий тиск у фронті хвилі стиску під час вибуху заряду у воді визначається з виразу [5]:

$$E_{уд} - E_0 = \frac{(P_{уд} + P_0)}{2\left(\frac{1}{\rho_0} - \frac{1}{\rho_{уд}}\right)}, \quad (4)$$

а тиск ударної хвилі – з виразу

$$P_{уд} = A\left(\frac{R_0}{R}\right)^{\alpha}, \quad (5)$$

де $E_{уд}$ – енергія на фронті ударної хвилі; P_0 – атмосферний тиск; R_0 – радіус сферичного заряду, м; A, α – експериментальні коефіцієнти; R – абсолютна відстань до точки вимірювання тиску, м.

Для сферичної хвилі стиску у випадку застосування тротилу

$$A = 37 \cdot 10^8 \text{Па}, \quad \alpha = 1,5 \text{ при } 6 < \frac{R}{R_0} < 12;$$

у випадку застосування тену

$$A = 147,5 \cdot 10^8 \text{Па}, \quad \alpha = 3 \text{ при } 1 < \frac{R}{R_0} < 2,1;$$

$$A = 74,8 \cdot 10^8 \text{Па}, \quad \alpha = 2 \text{ при } 2,1 < \frac{R}{R_0} < 5,7.$$

Під час вибуху донного заряду в обводнених свердловинах діаметром 0,2, 0,25 і 0,32 м особливий інтерес викликає зміна надлишкового тиску води на стінки свердловин зі зміною параметрів R і R_0. Для розгляданого випадку відносний радіус R_0 = 0,0576 м, а відносна відстань до стінки свердловини становить 0,576; 0,461; 0,360.

Для наближеної оцінки тиску на фронті хвилі стиску під час вибуху донного заряду з іншої ВР значення коефіцієнта A може бути обчислене згідно з принципом енергетичної подібності:

$$A = A_{ТЕН}\left(\frac{Q_\rho}{Q_{\rho ТЕН}}\right)\alpha(N+1), \quad (6)$$

де $A_{ТЕН}$ – коефіцієнт для тену; Q_ρ – теплота вибуху іншої розрахункової ВР, кДж; $Q_{\rho ТЕН}$ – теплота вибуху тену, кДж; N – параметр симетрії, N = 2 для сферичної хвилі.

Для сферичної ударної хвилі

$$A = 147,5 \cdot 10^8 \left(\frac{1060 \cdot 10^5 \cdot 1,6}{1400 \cdot 10^5 \cdot 1,6}\right)^{3(2+1)} = 12,04 \cdot 10^8 \text{ [Па]}.$$

Надлишковий тиск ΔP на фронті сферичної ударної хвилі становить

$$\Delta P = 12,04 \cdot 10^8 \cdot 0,461^3 = 1,179 \cdot 10^8 \text{ [Па]}.$$

Значення надлишкового тиску на фронті хвилі стиску в залежності від величини донного заряду (m) і діаметра свердловин ($d_{св}$) наведені в таблиці.

Параметри надлишкового тиску у фронті хвилі стиску

Маса донних зарядів m, кг	Величина надлишкового тиску ΔP, Па·10^8, на стінки свердловини діаметром, м		
	0,2	0,25	0,32
0,8	1,523	0,782	0,372
1,2	2,300	1,179	0,561
2,0	3,887	1,992	0,950

Зміну тиску на фронті хвилі стиску в залежності від маси донного заряду показано на рис. 1, характер тріщиноутворення в оргсклі при вибуховому осушенні моделі свердловини в залежності від висоти стовпа води $H_в$ в ній – на рис. 2.

Експериментальне дослідження вибуху у воді звичайно обмежується визначенням максимального радіусу розширення газової порожнини (у нашому випадку це діаметр свердловини) і часу розширення газової порожнини t_{max} до максимального радіуса. Останній параметр визначається за формулою [6]

$$t_{max} = \frac{M}{P_0^{5/6}} \frac{R_0}{V_з},$$

де M – константа, що визначає рух газового пузиря у воді (для тротилу $M = 4350$); $V_з$ – швидкість звуку у воді, $V_з = 1500$ м/с; P_0 – початковий тиск, Па.

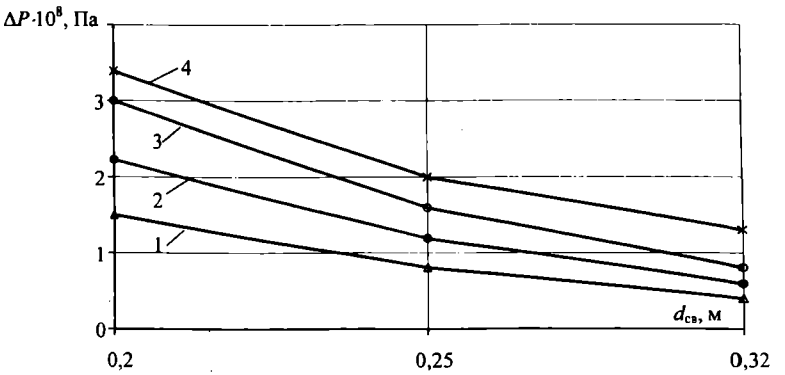

Рис. 1. Зміна тиску на стінки свердловини в залежності від діаметра свердловини і маси донного заряду: *1* – 0,8 кг; *2* – 1,2 кг; *3* – 1,6 кг; *4* – 2,0 кг

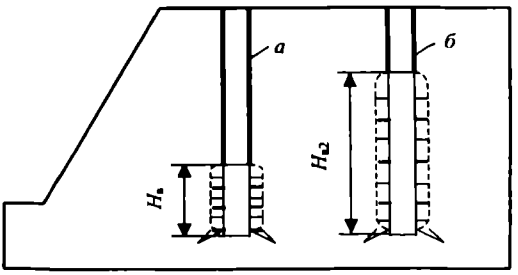

Рис. 2. Схема руйнування моделі з оргскла при вибуховому осушенні свердловин з різною висотою стовпа води: *а* – $H_в$ = 5,0 м; *б* – $H_в$ = 10,0 м

Швидкість розширення газового пузиря дорівнює [6]

$$U_п = \sqrt{\frac{2P_0}{3P_п}\left[\left(\frac{R_с}{R_п}\right)^3 - 1\right]}, \qquad (8)$$

де $P_п$ і $R_п$ – поточні значення тиску і радіуса газового пузиря; $R_с$ – радіус свердловини, м.

Радіус тріщин розриву $R_р$ у свердловині визначають за формулою [7]

$$R_р = R_с\sqrt{\frac{2P - P_• + \sigma_п}{P_• + \sigma_п}}, \qquad (9)$$

де P – внутрішньосвердловинний тиск, Па; $\sigma_п$ – межа міцності породи на розрив, Па; $P_•$ – гірський тиск, Па.

З останнього виразу випливає, що розміри зони руйнування прямо пропорційні радіусу свердловини і нелінійно змінюються в залежності від внутрішньосвердловинного і гірського тиску, а також опору порід розриву.

З ростом внутрішньосвердловинного тиску радіус тріщин $R_р$ збільшується, а ріст гірського тиску веде до зменшення $R_р$. Збільшення міцності породи супроводжується зменшенням глибини тріщин.

За допомогою виразу (9) для умов підривання донних зарядів в кар'єрах ІнГЗКа (Кривий Ріг) і Кальчикському кар'єрі (Донецька обл.) отримано значення $R_р$ у привибійній зоні свердловин в залежності від міцності порід. Вплив маси донних зарядів (m) і міцності порід f на розміри радіальних тріщин показано на рис. 3, 4.

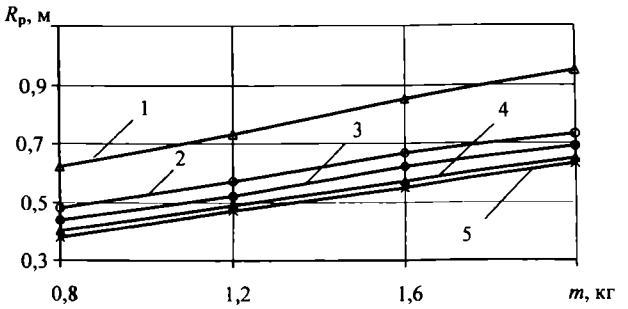

Рис. 3. Зміна радіуса радіальних тріщин під час осушення свердловин діаметром 0,25 м в залежності від міцності порід: *1* – сланці, f = 6–9; *2* – граніти, f = 12–14; вапняки, f = 10–12; доломіти, f = 10–14; *3* – сієніти, f = 14–16; *4* – джеспіліти гематитові, f = 16–18; *5* – роговики, f = 18–20

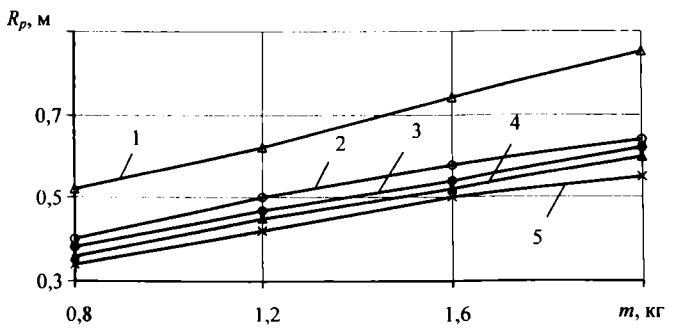

Рис. 4. Зміна радіуса радіальних тріщин під час осушення свердловин $d_{св}$ = 0,2 м в залежності від міцності порід: *1* – сланці, f = 6–9; *2* – граніти, f = 12–14; вапняки, f = 10–12; доломіти, f = 10–14; *3* – сієніти, f = 14–16; *4* – джеспіліти гематитові, f = 16–18; *5* – роговики, f = 18–20

Проведені дослідження показують, що дія продуктів детонації донних зарядів на середовище вода–гірські породи неоднозначна і залежить як від властивостей гірських порід і діаметра свердловин, так і від маси донних зарядів.

Під час прострілки свердловин малими донними зарядами (до 2 кг) виникають малі тиски, для яких характерне дилатантне зменшення міцності привибійної зони свердловин, тобто поява нових тріщин глибиною до (3–4) $d_{св}$, що призводить до зрушення порід і закриття мікротріщин, а іноді й макротріщин чи дренажних тріщин. Разом з тим, нагнітання частинок бурового шламу в тріщини під високим тиском ПД підвищує якість тампонажу стінок свердловин. Дилатансія починається при напруженнях близько 1/3–2/3 від величини руйнівного напруження, причому помітніше проявляється в породах, що містять дефекти значних розмірів (тріщинуваті породи) [7].

Під час вибуху донних зарядів масою більше 10 кг мікротріщинуватість і глибина тріщин збільшуються. Важливим ефектом, що супроводжує дилатантне зменшення міцності порід при нерівномірному стиску, є зміна проникності порід, яка є одним з важливих факторів застосування вибухового осушення під час вибухової відбійки обводнених гірських порід.

Висновки

1. Дія продуктів детонації донних зарядів на середовище вода–гірські породи залежить від властивостей гірських порід, діаметра свердловини і маси донних зарядів.

2. Отримано залежності зміни тиску на стінки свердловини в залежності від діаметра свердловини при $d_{св}$ = 0,2; 0,25 і 0,32 м і маси донного заряду з m = 0,8; 1,2; 1,6 і 2,0 кг.

3. Вибухи донних зарядів невеликої маси (до 2 кг) в обводнених свердловинах не тільки створюють систему радіальних тріщин, але й викликають явище дилатансії, пов'язане з послабленням масиву у привибійній зоні свердловин.

4. Встановлено можливість нагнітання частинок бурового шламу в тріщини під високим тиском продуктів детонації донного заряду, що створює додатковий тампонаж стінок збезводнених свердловин. Це дозволяє використовувати в збезводнених свердловинах неводостійкі, частково водостійкі, аміачно-селітряні ВР типу грамонітів 79/21, 79/21 ГС, 50/50 та ін. при підготовці та проведенні масових вибухів.

Отримані наукові результати перевірені і підтверджені на нерудних та залізорудних кар'єрах України. Проектування БПР повинне здійснюватися з урахуванням попереднього зневоднення свердловин вибухами донних зарядів.

1. *Сеинов Н. П., Валиев Б. С.* Технология заряжания обводненных скважин неводоустойчивыми взрывчатыми веществами // Взрывное дело. – М.: Недра. – 1986. – № 89/46. – С.204–215.

2. *Турута Н. У., Лучко И. А., Поплавский В. А.* Взрыв и его мирные профессии. – К.: Наукова думка, 1982. – 175 с.

3. *Пашков А. П.* Визначення безпечних параметрів донних зарядів при вибуховому очищенні свердловин від води та шламу // Проблеми охорони праці в Україні: Збірник наукових праць. – К: НІІДІОП. – 2002. – Вип. 6. – С. 61–69.

4. *Мотов Ю. М.* Удаление воды из взрывных скважин обеспечивает повышение эффективности взрывных работ // Экспресс-информация. Серия Горнорудное производство и обогащение руд. – М.: ЦНИИинформация. – 1989. – С. 7–8.

5. *Барон В. Л., Кантор В. Х.* Техника и технология взрывных работ в США. – М.: Недра. – 1989. – 376 с.

6. *Физика взрыва* / Ф. А. Баум, Я. П. Орленко, К. П. Станюкович и др. – М.: Наука, 1975. – 704 с.

7. *Михалюк А. В., Хромов И. А., Лысюк Н. А.* Формирование призабойных зон скважин взрывом. – К.: Техника, 1986. – 144 с.