

ТЕХНІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ КОМПОЛАЙТІВ – БЕЗТРОТИЛОВИХ ВИБУХОВИХ РЕЧОВИН МІСЦЕВОГО ПРИГОТУВАННЯ

*В. С. Прокопенко, докт. техн. наук, І. В. Косьмін, А. І. Лучко, інженери
(ЗАТ «Техновибух»), А. В. Прокопенко, асп. (НТУУ «КПІ»)*

Приведены результаты расчетов идеальной работы взрыва и работы при двукратном расширении продуктов детонации в зависимости от процентного содержания ваты полимера во взрывчатой смеси при различных фиксированных значениях суммарного содержания аммиачной селитры и дизельного топлива.

Досягнення ефективного та якісного первинного дроблення твердої гірської породи є актуальною проблемою відкритого способу розробки корисних копалин, оскільки від якості гірничої маси значною мірою залежать техніко-економічні показники екскавації, транспортування та інших важливих процесів гірничих робіт. На сьогодні основним джерелом енергії дроблення є енергія вибуху вибухових речовин (ВР). У зв'язку з цим у нашій країні широким фронтом виконуються роботи з розроблення та дослідження нових ВР і методів їх застосування з метою досягнення високих техніко-економічних показників з забезпеченням технологічної та екологічної безпеки. Працівниками ЗАТ „Техновибух” розроблено ряд типів промислових ВР для заряджання свердловин з формуванням ВР у поліетиленові рукави, а саме: полімікси ГР1 (безтритилові) згідно з ТУ У 24.6–25274773–024-2004; полімікси ГРТ і ГР-ГРМ (тритиловмісні) – ТУ У 25274773.008-2001; полімікси ГР-ПБ (пороховмісні) – ТУ У 24.6–25274773–027-2004; комполайти ГС – ТУ У 24.6-25274773.016-2002; комполайти ПС – ТУ У 24.6-25274773.017-2002 та ін. [1]. При цьому виникає необхідність у більш детальному ознайомленні науковців і практиків з особливостями розроблених ВР.

У праці [2] висвітлені термодинамічні характеристики різновиду комполайтів тетрамону – безтритилової вибухової суміші. У цій статті розглянемо питання про технічну ефективність комполайтів.

У відомих схемах розрахунку параметрів підривних робіт [3, 4] використовують перевідний коефіцієнт

$$e = \frac{(A_i)_{\text{ет}}}{A_i}, \quad (1)$$

де $(A_i)_{\text{ет}}$, A_i – питома ідеальна робота вибуху відповідно еталонної (зазвичай амоніту № 6ЖВ або грамоніту 79/21) і порівнюваної ВР.

Відомі рекомендації щодо використання безрозмірного коефіцієнта потужності ВР [5, 6]

$$K_m = \frac{\rho_0 ED}{\rho_{\text{ет}} E_{\text{ет}} D_{\text{ет}}}, \quad (2)$$

де ρ_0 і $\rho_{\text{ет}}$ – щільність, E і $E_{\text{ет}}$ – питома енергія, D і $D_{\text{ет}}$ – швидкість детонації відповідно порівнюваної і еталонної ВР.

Очевидно, що показники відносної ефективності ВР містять параметри самої ВР і непрямо враховують форму заряду, властивості навколишнього середовища і механізм передавання в нього енергії вибуху (через вплив зазначених факторів на значення вхідних величин у критерії ефективності). Спроба враховувати властивості навколишнього середовища при оцінці відносної технічної ефективності здійснена в праці [7]. Перевідний коефіцієнт порівнюваної ВР відносно еталонної

$$e_1 = \frac{E_{\text{ет}} k_{\text{зал.ет}}}{E k_{\text{зал}}}, \quad (3)$$

де за E і $E_{\text{ет}}$ можна приймати питому потенціальну енергію або питому ідеальну роботу, оскільки відношення цих параметрів для еталонної і порівнюваної ВР мало відрізняються; $k_{\text{зал}}$ і $k_{\text{зал.ет}}$ – коефіцієнти заломлення енергії вибуху з свердловини в породу для порівнюваної і еталонної ВР.

При заповненні свердловини на весь переріз

$$k_{\text{зал}} = \frac{4\lambda_3 \lambda_{\text{п}}}{(\lambda_3 + \lambda_{\text{п}})^2}, \quad (4)$$

де $\lambda_3 = \rho_0 D$ – акустичний імпеданс заряду ВР; $\lambda_{\text{п}} = \rho_{\text{п}} C_p$ – акустичний імпеданс гірської породи; $\rho_{\text{п}}$ – щільність породи; C_p – швидкість поширення у породі поздовжніх хвиль.

При наявності кільцевого повітряного зазору між зарядом і стінкою свердловини для визначення акустичного імпедансу заряду пропонується використати рекомендації М. Кука [8]. У цьому випадку

$$\lambda_3 = \sqrt{8\Delta\rho_0 P_{\text{св}}}, \quad (5)$$

де Δ – відношення об'єму ВР до об'єму зарядженої частини свердловини (без урахування набійки); $P_{\text{св}}$ – середній тиск продуктів вибуху (ПВ) у свердловині в цих умовах [8]:

$$P_{\text{св}} = \frac{\rho_0 D^2}{8} \Delta^{2,5}. \quad (6)$$

Поршневу дію ПВ, їх здатність виконувати роботу зсуву, переміщення гірничої маси (фугасну здатність ВР) характеризує величина ідеальної роботи вибуху A_i , віднесеної до одиниці об'єму ВР.

Якщо прийняти політропний закон розширення ПВ у вигляді $PV^n = \text{const}$ і визнати справедливність цього закону в достатньо широких межах тиску (до $P_2 = 100$ МПа), то вираз для ідеальної роботи вибуху при будь-якому ступені розширення ПВ V_2/V_n має вигляд

$$A_i = \int_{V_n}^{V_2} P_n \left(\frac{V_n}{V_2} \right)^n dv = \frac{P_n V_n}{n-1} \left[1 - \left(\frac{V_n}{V_2} \right)^{n-1} \right], \quad (7)$$

де V_n – початковий об'єм; V_2 – об'єм ПВ у момент завершення роботи; P_n – початковий тиск ПВ; n – показник політропи.

Величину $\frac{P_n V_n}{n-1}$ у виразі (7) можна замінити на теплоту вибухового перетворення Q_B , і тоді величина A_i стає пропорційною енергетичному потенціалу ВР. Відносячи роботу A_i до одиниці маси ВР, отримуємо

$$(A_i)_V = \frac{n P_n}{n-1} \left[1 - \left(\frac{V_n}{V_2} \right)^{n-1} \right]. \quad (8)$$

Ідеальну роботу вибуху A_i можна визначити також у вигляді різниці між внутрішньою енергією ПВ у момент їх утворення і в кінці розширення (3):

$$A_i = C_{V,1} T_B - C_{V,2} T_2 \approx Q_B - C_{V,2} T_2, \quad (9)$$

де $C_{V,1}$ і $C_{V,2}$ – середня теплоємність ПВ при постійному об'ємі в момент їх утворення і в кінці розширення; T_B – температура вибуху; T_2 – температура ПВ у кінці їх розширення; Q_B – температура вибуху.

Для визначення A_i за формулою (9) необхідно знати теплоту вибуху, склад ПВ у кінці їх розширення для визначення $C_{V,2}$ і кінцевої температури T_2 .

Якісну оцінку роботоздатності ВР можна виконати за виразом, адекватним виразу для визначення роботоздатності газових вибухових систем [3]:

$$A_i = Q_B \left[1 - \left(\frac{V_0}{V_{0K}} \right)^{\gamma-1} \right], \quad (10)$$

де $V_0 = \frac{1}{\rho_0}$ – питомий об'єм ВР; $V_{0K} = 22,4 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$; γ – показник адіабати. Для

розрахунку використовують середнє інтегральне або середнє арифметичне значення теплоємностей ПВ в інтервалі температур від T_B до T_2 .

Переходячи в (10) від питомих об'ємів до тисків ПВ на початку процесу їх розширення P_n і в кінці розширення P_2 , отримуємо

$$A_i = Q_B \left[1 - \left(\frac{P_2}{P_n} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right]. \quad (11)$$

Приймаємо, що тиск P_2 дорівнює атмосферному тиску.

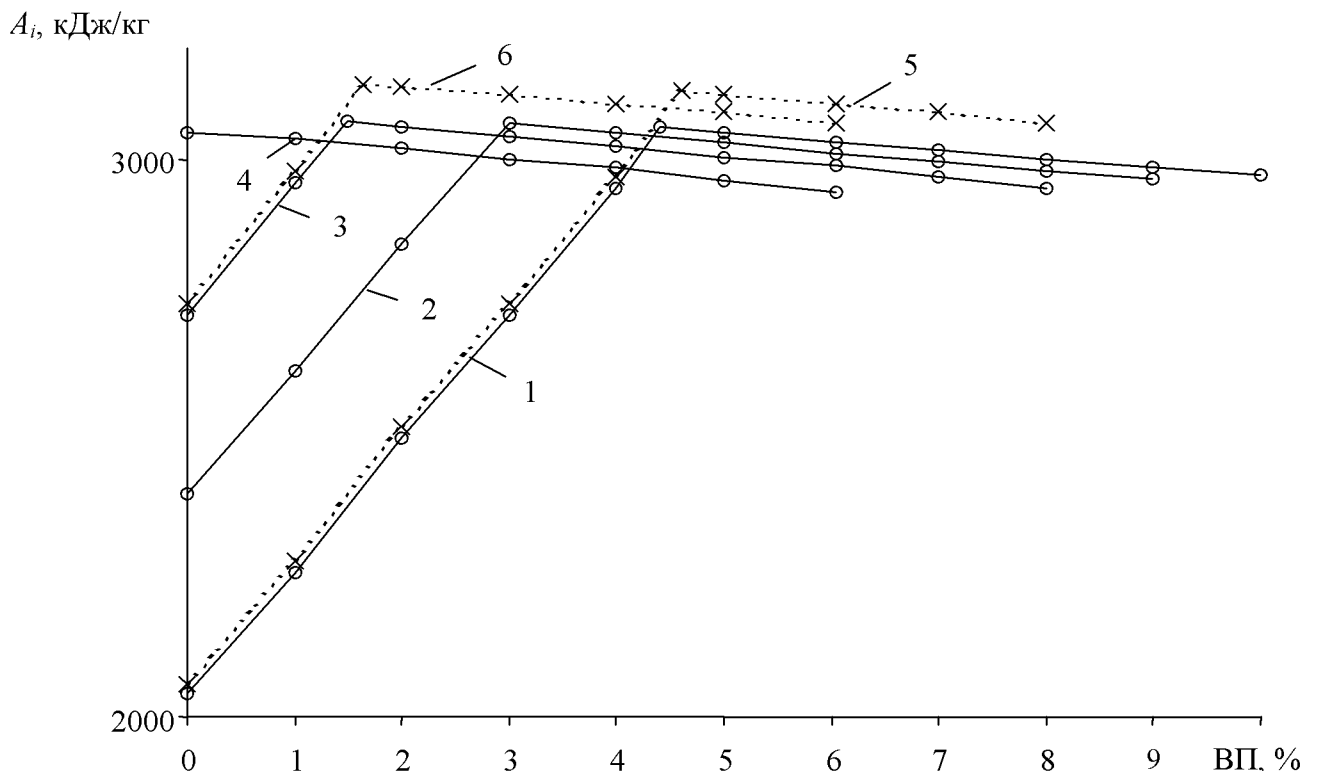
Розрахунки показали [3], що при двократному розширенні ПВ ($V_2/V_n = 2$) відповідна робота вибуху $A_{0,5}$ складає 60...70 % повної роботи розширення. При цьому тиск ПВ зменшується в 6...7 разів, а показник політропи n зменшу-

ється на 0,2...0,3, що дозволяє без великої похибки приймати $n = \text{const}$. Зі збільшенням щільності ВР приріст тиску приблизно в 2 рази більший за приріст роботи ПВ. Виходячи з наведених оцінок, К. К. Шведов вважає, що величина $A_{0,5}$ може бути критерієм роботоздатності за пробою Трауцля і її легше розраховувати порівняно з ідеальною роботою вибуху A_i [3].

Роботу вибуху $A_{0,5}$ розрахуємо за формулою (7), замінивши в ній величину $P_n V_n / (n-1)$ на теплоту вибухового перетворення Q_v , тобто

$$A_{0,5} = Q_v (1 - 0,5^{n-1}). \quad (12)$$

На рис. 1, а зображені залежності ідеальної роботи вибуху від процентного вмісту вати полімеру (ВП) при різних фіксованих значеннях сумарного вмісту аміачної селітри (АС) і дизельного пального (ДП), а на рис. 1, б – залежність роботи вибуху $A_{0,5}$ (ВП). Залежності A_i (ВП) і $A_{0,5}$ (ВП) мають точки максимуму, які відповідають стехіометричному складу сумішей. Максимальні значення ідеальної роботи вибуху лежать у дуже вузьких межах: 3050...3060 кДж/кг при АС = 88 % і 3110...3120 кДж/кг при АС = 90 %. Отже, максимальне значення ідеальної роботи вибуху $A_{i_{\text{max}}}$ залежить в основному від вмісту АС в суміші.



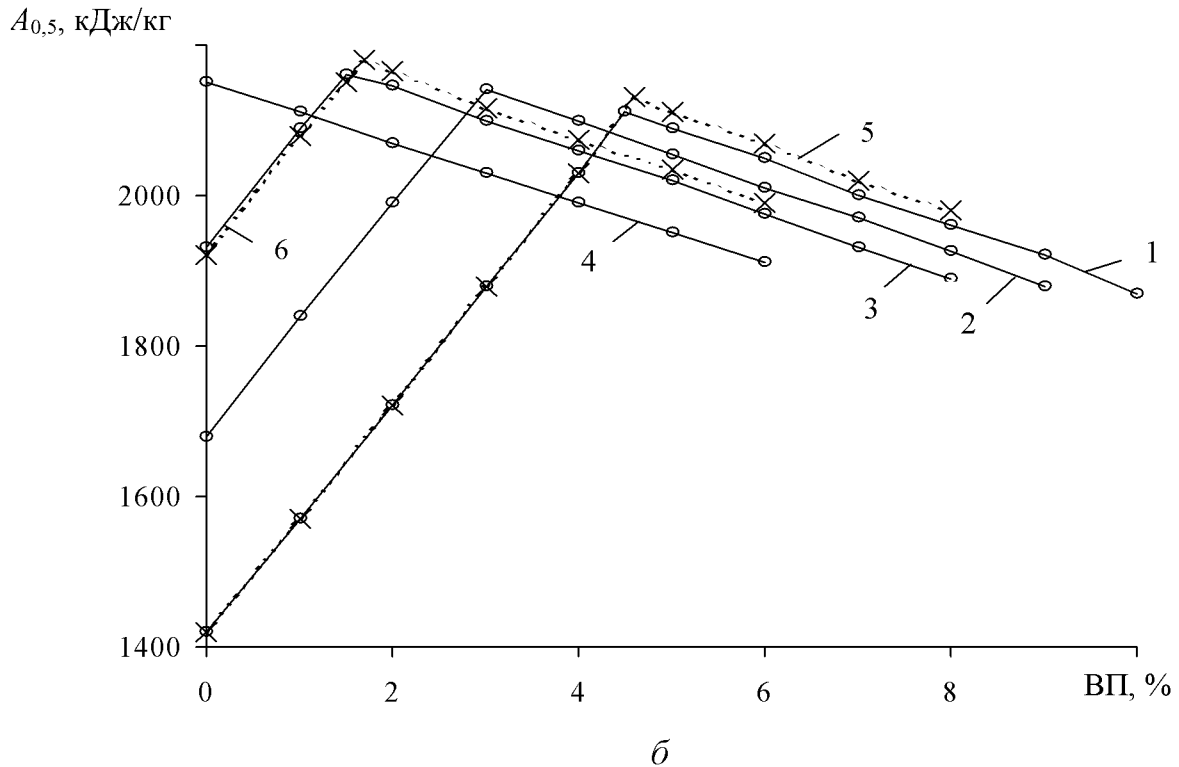


Рис. 1. Залежності ідеальної роботи вибуху A_i (а) і роботи вибуху $A_{0,5}$ (б) від вмісту в суміші ВП при різних фіксованих значеннях вмісту АС і ДП: 1 – АС = 88 %, ДТ = 2 %; 2 – АС = 88 %, ДТ = 3 %; 3 – АС = 88 %, ДТ = 4 %; 4 – АС = 88 %, ДТ = 6 %; 5 – АС = 90 %, ДТ = 2 %; 6 – АС = 90 %, ДТ = 4 %

На відміну від $A_{i\max}$, максимальне значення роботи вибуху $A_{0,5\max}$ залежить від вмісту в суміші інших компонентів (рис. 1, б). Так, зі збільшенням у суміші вмісту ВП максимальне значення роботи $A_{0,5\max}$ зменшується. Це можна пояснити більш суттєвим впливом вмісту ВП і залізорудного концентрату (ЗРК) на показник політропи, що входить у формулу для визначення $A_{0,5}$. Показник адіабати, що входить у формулу для визначення A_i , мало змінюється зі зміною вмісту ВП.

Із аналізу зображених на рис. 2 залежностей $A_{0,5}$ від кисневого коефіцієнта α_k

$$\alpha_k = \frac{2c}{(4a + b + 3e + f)}$$

(a, b, c, e, f – число атомів у вибуховій суміші відпо-

відно вуглецю, водню, кисню, заліза, кремнію) впливає, що при $\alpha_k > 1$ величини $A_{0,5}$ і A_i лежать на одній прямій. Звідси випливає, що однакові значення ідеальної роботи вибуху можна отримати при різних комбінаціях вмісту окремих компонентів у суміші.

При від'ємному кисневому балансі ($\alpha_k < 1$) залежності $A_{0,5}(\alpha_k)$ визначаються вмістом компонентів у суміші, а положення ліній $A_i(\alpha_k)$ залежить від вмісту в суміші АС. Максимальне значення роботи вибуху досягається при $\alpha_k = 1$.

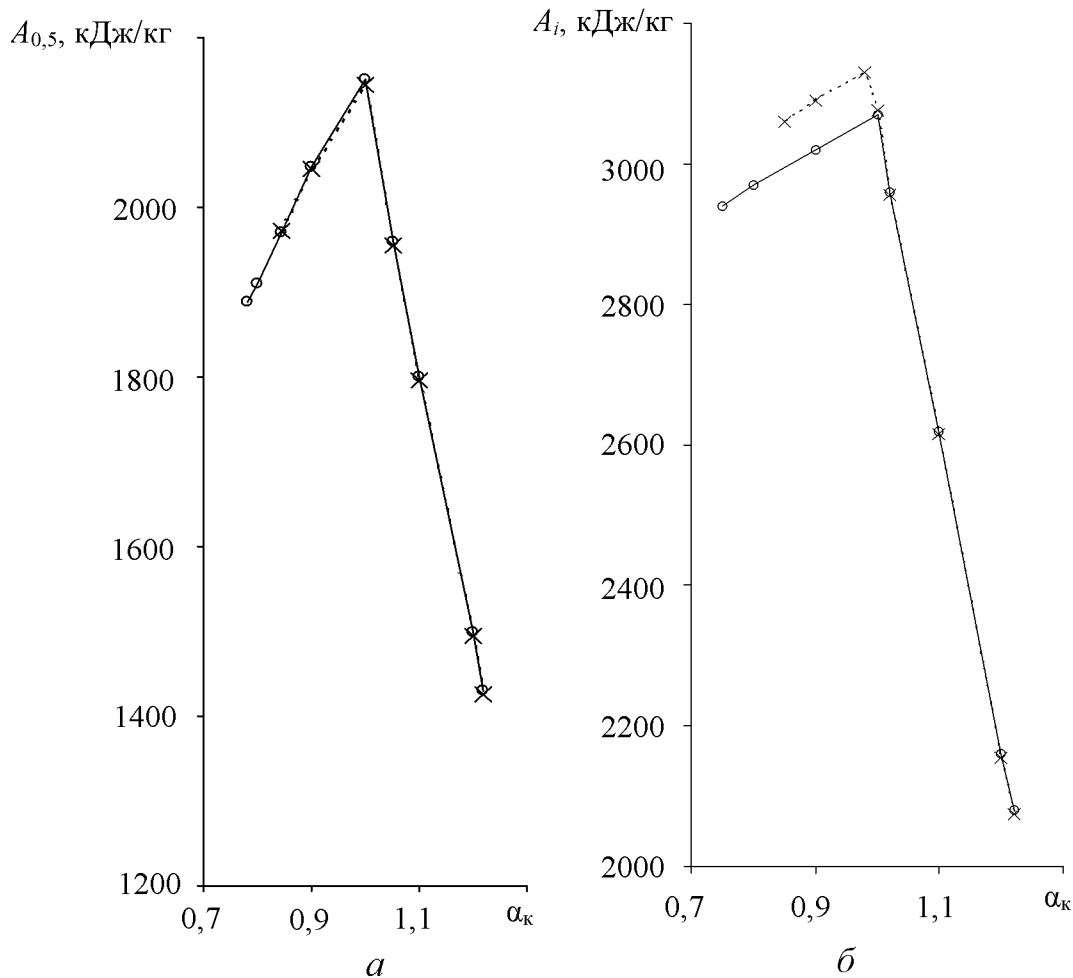


Рис. 2. Залежності усереднених значень роботи вибуху $A_{0,5}$ (а) і A_i (б) від кисневого коефіцієнта вибухових сумішей з різним компонентним складом: а – АС = 88 %; б – АС = 90 %

У подальшому необхідно провести більш глибокі дослідження пропонованих сумішевих ВР, оскільки їх технічна ефективність визначається не тільки величиною питомої енергії ВР чи ідеальної роботи вибуху, але й формою імпульсу, не тільки початковим тиском ПВ, але й характером залежності тиску ПВ від часу або об'єму порожнини з ПВ.

1. Прокопенко В. С., Лотоус В. В. Разрушение твердых горных пород взрывами скважинных зарядов взрывчатых веществ в рукавах. – К.: ЗАО "Випол", 2003. – 83 с.

2. Прокопенко В. С., Косьмін І. В., Лучко А. І. та ін. Термодинамічні характеристики тетрамонів – безтротилових вибухових сумішей // Вісник НТУУ „КПІ”. Серія „Гірництво”: Зб. наук. праць. – К. – 2003. – Вип. 8. – С. 65–73.

3. Дубнов Л. В., Бахаревич Н. С., Романов А. И. Промышленные взрывчатые вещества. – М.: Недра, 1982. – 358 с.

4. Давыдов В. Ю., Дубнов Л. В., Гришин А. М. Универсальный термодинамический критерий эффективности ВВ // Физика горения и взрыва. – 1992. – № 4. – С. 102–107.

5. Барон В. Л., Кантор В. Х. Техника и технология взрывных работ в США. – М.: Недра, 1989. – 376 с.
6. Ханукаев А. Н., Ханукаева К. С. Критерий оценки взрывчатого вещества и его действия на горные породы // Известия вузов. Горный журнал. – 1993. – № 1. – С. 68–74.
7. Азаркович А. Е., Шуйфер М. К. Оценка относительной взрывной эффективности различных взрывчатых веществ в массивах пород // Физико-техн. пробл. разраб. полезн. ископаемых. – 1998. – № 2. – С. 47–51.
8. Кук М. Наука о промышленных взрывчатых веществах. – М.: Недра. – 1980. – 453 с.