

УДК 622.235

## РЕЗУЛЬТАТИ АНАЛІЗУ ДІЇ ВИБУХУ В ГІРСЬКИХ ПОРОДАХ ЕТАЛОННИХ І НОВИХ ПРОМИСЛОВИХ СУМІШЕВИХ ВИБУХОВИХ РЕЧОВИН

*М. І. Мазур, магістрант, І. А. Лучко, докт. техн. наук (НТУУ «КПІ»),  
А. І. Лучко, здобувач наукового ступеня (ІГМ НАН України)*

*Исследованы величина и форма импульса взрыва скважинных зарядов разных длин и различных смесевых взрывчатых веществ в амфиболите, известняке монолитном и трещиноватом, гранитоидах.*

*Досліджено величину і форму імпульсу вибуху свердловинних зарядів різної довжини і різних сумішевих вибухових речовин в амфіболіті, вапняку монолітному та тріщинуватому, гранітоїдах.*

*The size and the form of the hole charges explosion impulse of different lengths and various mix explosives in amphibolite, limestone monolithic and fractured, granitoids are investigated.*

Останнім часом в Україні і за кордоном багато наукових і виробничих колективів працюють над створенням нових промислових сумішевих вибухових речовин (ВР) для ефективного руйнування гірських порід при видобуванні корисних копалин з одночасним забезпеченням зростаючих вимог технологічної і екологічної безпеки.

Зокрема, часто застосовуються ВР, що готуються на місці проведення підривних робіт з використанням простих і дешевих компонентів [1–3]. Як впливає з аналізу результатів досліджень [2–5], розроблені ЗАТ «Техновібух» нові вибухові суміші забезпечують: можливість механізації процесу їх приготування й заряджання, регулювання об'ємної концентрації енергії вибуху, рівномірне дроблення порід, зменшення виходу негабариту, зниження вартості руйнування порід, поліпшення екологічної ситуації в кар'єрі та навколо нього. При цьому висновки про ефективність пропонуваніх ВР базуються в основному на результатах експериментальних і дослідно-промислових вибухів.

З викладеного впливають цілі досліджень – порівняти форму імпульсів вибухів і розміри зон дії вибухів нових промислових сумішевих ВР та еталонних ВР – грамоніту 79/21 та ігданіту в твердих гірських породах.

Дослідимо спочатку форму імпульсів вибухів свердловинних зарядів неоднакової довжини для різних ВР, у тому числі й еталонних. Для цього використаємо формулу для імпульсу вибуху [6]

$$P = \frac{1}{8} \rho_{\text{ВР}} D^{\frac{8}{3}} L^{\frac{-2}{3}} t^{\frac{2}{3}} e^{-1 \left( \frac{Dt}{L} \right)^{\frac{2}{3}}}, \quad (1)$$

де  $\rho_{\text{ВР}}$  – щільність ВР,  $\text{кг/м}^3$ ;  $D$  – швидкість детонації,  $\text{м/с}$ ;  $L$  – довжина свердловинного заряду,  $\text{м}$ ;  $t$  – час,  $\text{с}$ ;  $e = 2,718$  – основа натуральних логарифмів.

Введемо дві поправки в формулу (1). По-перше, формула (1) отримана за умови, що максимальний тиск детонації ВР  $P_{\text{max}} = \frac{1}{2(n+1)} \rho_{\text{ВР}} D^2$  з показником політропи  $n = 3$ , що виконується для потужних ВР, зокрема тротилу. Оскільки в нашій праці досліджуватимуться різні ВР, то в формулі (1) замість коефіцієнта  $\frac{1}{8}$  братимемо вираз  $\frac{1}{2(n+1)}$ , де  $n$  – значення показника політропи досліджуваної ВР.

По-друге, для врахування впливу властивостей гірських порід на величину імпульсу вибуху використаємо акустичне наближення, виходячи з таких міркувань. Коли детонаційна хвиля, що поширюється по заряду, дійде до межі розподілу ВР–тверда гірська порода, по породі почне поширюватися ударна хвиля, а по продуктах вибуху (ПВ)–відбита хвиля. На межі розподілу ПВ–тверда гірська порода будуть виконуватися умови однаковості тиску і масових швидкостей

$$P_2 = P_{\text{П}}; U_2 = U_{\text{П}}, \quad (2)$$

де  $P_2$  і  $U_2$  – тиск і масова швидкість для ПВ;  $P_{\text{П}}$  і  $U_{\text{П}}$  – тиск і масова швидкість для гірської породи.

Закон збереження імпульсу для детонаційної хвилі, відбитої хвилі в ПВ і ударної хвилі в породі записується у такому вигляді:

$$P = \rho_{\text{ВР}} D U; \quad (3)$$

$$P_2 - P = \rho D_2 (U - U_2); \quad (4)$$

$$P_{\text{П}} = \rho_{\text{П}} C_y U_{\text{П}}, \quad (5)$$

де  $P$ ,  $D$ ,  $U$  – тиск, швидкість детонації ВР і масова швидкість у детонаційній хвилі;  $P_2$ ,  $D_2$  – тиск і швидкість у відбитій хвилі;  $P_{\text{П}}$ ,  $C_y$  – тиск і швидкість ударної хвилі в породі;  $\rho_{\text{ВР}}$ ,  $\rho$ ,  $\rho_{\text{П}}$  – щільність відповідно ВР, ПВ і породи.

Отримаємо зв'язок параметрів детонації з параметрами ударної хвилі в породі. Для цього запишемо (4) у вигляді

$$P = P_2 + \rho D_2 U_2 - \rho D_2 U.$$

Використовуючи (3), останній вираз можна записати у вигляді

$$P \left( 1 + \frac{\rho D_2}{\rho_{\text{ВР}} D} \right) = P_2 + \rho D_2 U_2.$$

Звідси визначаємо

$$P = \frac{\rho_{\text{ВР}} D (P_2 + \rho D_2 U_2)}{\rho_{\text{ВР}} D + \rho D_2}. \quad (6)$$

Використовуючи граничну умову (2) і вираз (5), із співвідношення (6) отримаємо, що

$$P = P_{\Pi} \frac{\rho_{\text{ВР}} D}{\rho_{\Pi} C_y} \left( \frac{\rho_{\Pi} C_y + \rho D_2}{\rho_{\text{ВР}} D + \rho D_2} \right). \quad (7)$$

В акустичному наближенні, що полягає в однаковості динамічних жорсткостей падаючої і відбитої хвиль, тобто  $\rho_{\text{ВР}} D = \rho D_2$ , вираз (7) прийме вигляд

$$P = \frac{1}{2} P_{\Pi} \left( 1 + \frac{\rho_{\text{ВР}} D}{\rho_{\Pi} C_y} \right). \quad (8)$$

Отже, для імпульсу вибуху, що починає діяти в твердій гірській породі, для акустичного наближення можна записати вираз

$$P_{\Pi} = \frac{\rho_{\text{ВР}}}{(n+1) \left( 1 + \frac{\rho_{\text{ВР}} D}{\rho_{\Pi} C_y} \right)} D^{\frac{8}{3}} L^{\frac{-2}{3}} t^{\frac{2}{3}} e^{-1 \left( \frac{Dt}{L} \right)^{\frac{2}{3}}}. \quad (9)$$

З використанням формули (9) були розраховані імпульси вибуху свердловинних зарядів неоднакової довжини для різних ВР (табл. 1) і гірських порід (табл. 2).

Таблиця 1. Значення параметрів вибухів різних ВР [7]

ВР \ Параметри	Грамоніт 79/21	Ігданіт	Полімікс ГР4-Т10	Полімікс ГР 1/8	Полімікс ГР 1/8 (85 %) + КРУ К2 (15 %)	Полімікс ГР 1/8 (74 %) + КРУ К2 (26 %)	Комплайт ГС 6
Щільність $\rho_{\text{ВР}}$ , кг/м <sup>3</sup>	950	850	872	875	950	1000	852
Швидкість детонації $D$ , м/с	3300	2500	3150	3600	3700	3900	2550
Показник політропи $n$	2,233	2,163	2,189	2,194	2,293	2,348	2,158
Питома теплота вибуху $Q_{\text{ВР}}$ , ккал/кг	1031	928	923	942	856	801	936

Таблиця 2. Характеристики твердих гірських порід [8]

Порода \ Характеристика	Щільність $\rho_p$ , кг/м <sup>3</sup>	Швидкість поширення поздовжніх хвиль $C_y$ , м/с	Коефіцієнт Пуассона $\nu$	Міцність на стиснення $\sigma_c \cdot 10^{-8}$ , Н/м <sup>2</sup>	Міцність на розрив $\sigma_p \cdot 10^{-7}$ , Н/м <sup>2</sup>	Модуль Юнга породи $E \cdot 10^{-10}$ , Н/м <sup>2</sup>
Вапняк монолітний	2500	4500	0,29	1,16	1,16	3,86
Вапняк тріщинуватий	2500	2600	0,27	0,7	0,7	1,35
Гранітоїди	2690	4170	0,09	0,52	0,45	4,6
Амфіболіти	2900	5725	0,23	0,91	1,62	8,2

На рис. 1 наведені величина і форма імпульсів вибухів в амфіболіті свердловинних зарядів неоднакової довжини  $L$  і різних ВР. Видно, що зі збільшенням довжини заряду величина імпульсу вибуху збільшується для кожної з еталонних і досліджуваних ВР.

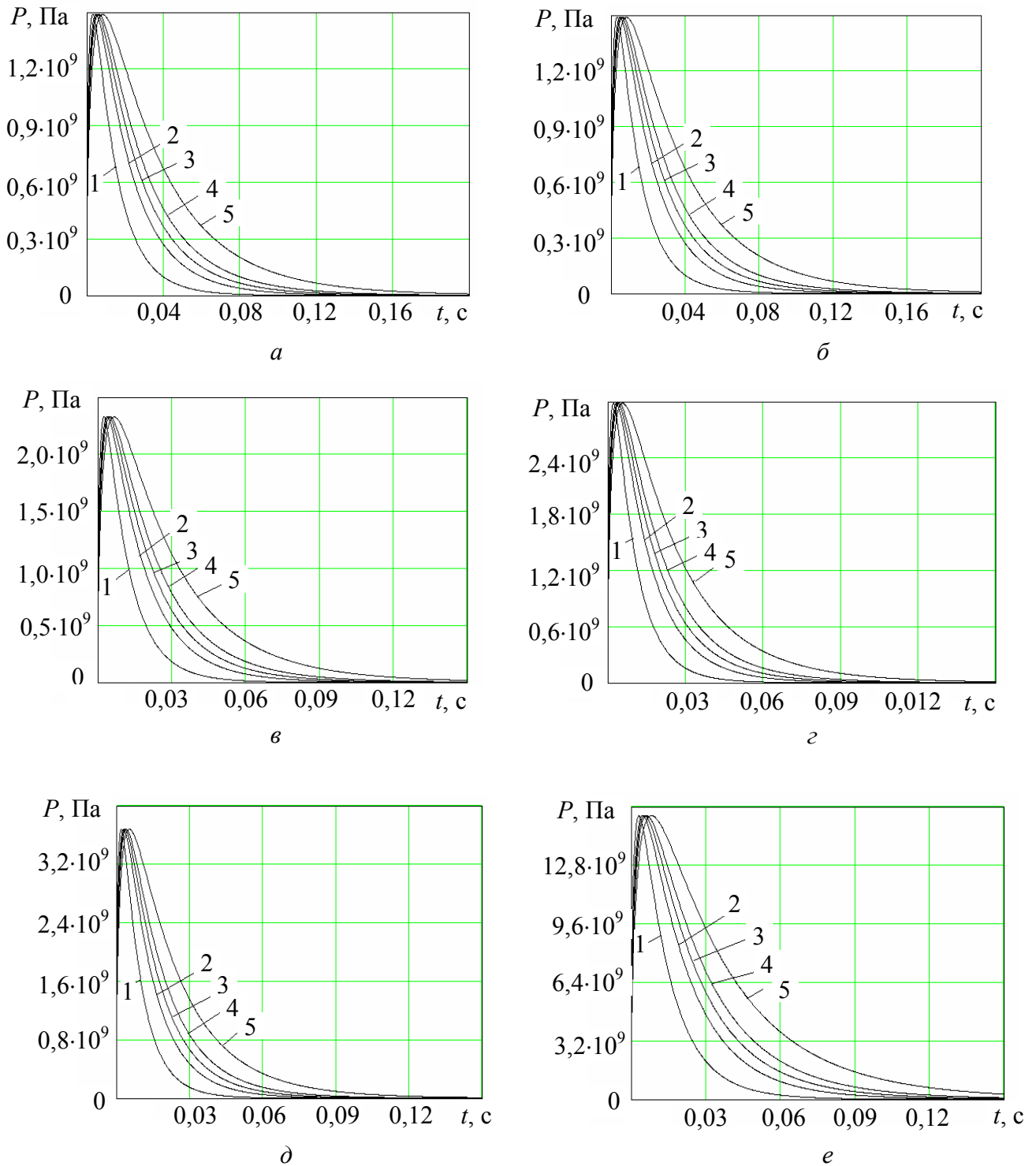


Рис. 1. Розрахункові значення величини і форми імпульсів вибухів в амфіболіті свердловинних зарядів неоднакової довжини  $L$  і різних ВР: *a* – грамоніт 79/21, *б* – ігданіт, *в* – полімікс ГР4-Т10, *г* – полімікс ГР 1/8, *д* – полімікс ГР 1/8 (74 %) + КРУ К2 (26 %), *е* – компаіт ГС6; 1 –  $L = 8$  м, 2 –  $L = 12$  м, 3 –  $L = 14$  м, 4 –  $L = 16$  м, 5 –  $L = 21$  м

На рис. 2 наведені величина і форма імпульсів вибухів у твердих породах свердловинних зарядів різних ВР з фіксованою довжиною зарядів  $L = 14$  м.

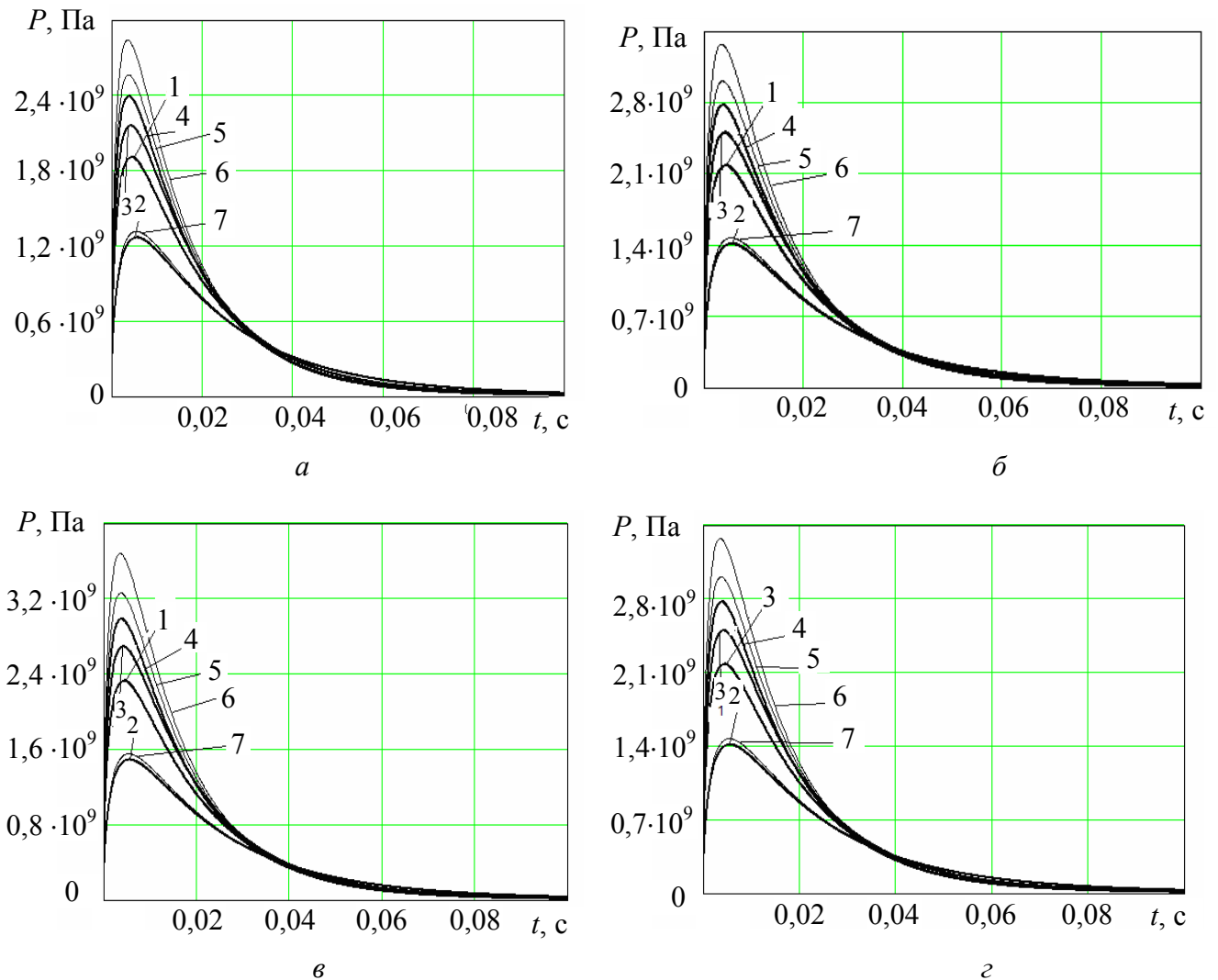


Рис. 2. Величина і форма імпульсів вибухів у різних твердих гірських породах свердловинних зарядів різних ВР довжиною  $L = 14$  м: *а* – вапняк тріщинуватий, *б* – вапняк монолітний, *в* – амфіболіти, *г* – гранітоїди; 1 – грамоніт 79/21, 2 – ігданіт, 3 – полімікс ГР4-Т10, 4 – полімікс ГР 1/8, 5 – полімікс ГР 1/8 (85 %) + КРУ К2 (15 %), 6 – полімікс ГР 1/8 (74 %) + КРУ К2 (26 %), 7 – комполайт ГС6

Аналіз наведених результатів свідчить, що найменша величина імпульсу вибуху в ігданіту (крива 2), трохи більша у досліджуваній ВР – комполайту ГС 6 (крива 7). Порівняно з другою еталонною ВР – грамонітом 79/21 (крива 1) величина імпульсу вибуху досліджуваних ВР поліміксу ГР4-Т10 (крива 3) менша, а поліміксів ГР 1/8 (крива 4), ГР 1/8 (85 %) + КРУ К2 (15 %) (крива 5), ГР 1/8 (74%) + КРУ К2 (26 %) (крива 6) – більша.

Величина максимального тиску в головній частині вибуху для кожної ВР у певній гірській породі відповідає швидкості поширення поздовжніх хвиль  $C_y$  в породі, а саме: зі збільшенням швидкості поширення поздовжніх хвиль  $C_y$  в породі збільшується величина максимального тиску.

Враховуючи, що величини імпульсів вибухів поліміксів ГР 1/8, ГР 1/8 (85 %) + КРУ К2 (15 %), ГР 1/8 (74 %) + КРУ К2 (26 %) більші від

величини імпульсу вибуху еталонної ВР – грамоніту 79/21 і що під час вибуху цих ВР порівняно з грамонітом 79/21 утворюється менша кількість шкідливих газів, то ці ВР можна вважати ефективними з технічної і екологічної точок зору.

З використанням зазначеного підходу до визначення величини і форми імпульсу вибуху можна виконати розрахунки зон дії вибуху в твердих гірських породах. Результати цих розрахунків автори наведуть в наступній публікації.

1. Крысин Р. С., Домничев В. Н. Современные взрывчатые вещества местного приготовления. – Днепропетровск: Наука и образование, 1998. – 140 с.

2. Прокопенко В. С., Косьмін І. В., Лещ П. П. Совершенствование и разработка взрывчатых веществ местного приготовления // Охрана труда. – К.: Охрана труда. – 2000. – С. 31–34.

3. Прокопенко В. С., Туручко І. І., Косьмін І. В. Нові вибухові речовини місцевого приготування // Проблеми охорони праці в Україні: Зб. наук. праць. – К.: ННДІОП. – 2001. – Вип. 4. – С. 161–165.

4. Туручко І. І., Косьмін І. В. Нові вибухові речовини з регульованою об'ємною концентрацією енергії // Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво»: Зб. наук. праць. – К.: НТУУ «КПІ». – 2001. – Вип. 5. – С. 52–56.

5. Прокопенко В. С. Фізико-технічні основи руйнування скельних порід вибухами свердловинних зарядів вибухових речовин у рукавах: Автореф. дис... докт. техн. наук / ННДІОП. – К., 2003. – 35 с.

6. Друкованый М. Ф., Куц В. С., Ильин В. И. Управление действием взрыва скважинных зарядов на карьерах. – М.: Недра, 1980. – 223 с.

7. Лучко А. І. Результати дослідження параметрів вибухів еталонних і нових промислових сумішевих вибухових речовин місцевого приготування // Вісник ЖДТУ / Технічні науки. – 2008. – № 3 (47). – С. 147–155.

8. Фролов О. О. Дослідження ефективності руйнування скельних порід вибухом свердловинного заряду для умов кар'єру ВАТ «Полтавський ГЗК» // Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво»: Зб. наук. праць. – К.: НТУУ «КПІ». – 2007. – Вип. 15. – С. 61–65.