

УДК 662.235

В.Г. Кравець, д.т.н., проф.*Національний технічний університет України "КПІ"***А.Восводка, доктор-інженер***Сілезький Технічний університет***Т.В. Косенко, інж.***Національний технічний університет України "КПІ"*

ПРИНЦИПИ ДОБОРУ НИЗЬКОШВИДКІСНИХ ВИБУХОВИХ РЕЧОВИН

В роботі викладено головні принципи добору інгредієнтів для низькошвидкісних вибухових речовин. Розроблені склади ВР із швидкістю детонації 1000–1600 м/с. Встановлена залежність швидкості детонації досліджуваних ВР від діаметра патрона і цільності ВР в патроні.

Вступ

В процесі наших досліджень розроблялись низькошвидкісні ВР двох груп із швидкістю детонації від 1000 до 1600 м/с.

Детонаційний характер вибухового перетворення цих ВР забезпечувався ініціюванням їх з допомогою електровибуху.

Критерій низькошвидкісних ВР згідно з [1], [2] складає 2000 м/с і нижче.

Література з цієї теми надто бідна, інформації про детонаційний характер розкладання цих ВР дуже мало. Роботи [3], [4] під назвою "Вибухові речовини з низькою швидкістю детонації" фактично описують вибухове перетворення в режимі детонації вищих ВР. Більш популярною для цих ВР є назва "Високодетонаційні з інертними домішками" [3, 5] або "Високодетонаційні з оксидантами" [6]. Деякі з ВР групи іонообмінних мають швидкість детонації нижче 2000 м/с, наприклад 1500–1800 м/с [7] і 1200–1600 м/с [8]. Автори цих робіт не дають ніяких доказів детонаційного характеру перетворення вивчених ВР.

Концепція добору композицій

Головною метою визначення належності ВР до низькошвидкісних було досягнення вибухом мінімальної кількості тепла з одночасним зниженням об'єму продуктів вибуху. При підбиранні складу таких ВР застосовано основний принцип іонообмінних ВР. Наведені нижче посилання прийняті при виборі інгредієнтів для цих ВР.

1. Як сенсibilізатор використовувалась суміш нітрогліколю з динітротолуолом у співвідношенні 2:1. З попередніх пошукових робіт та на основі літератури [9] сенсibilізатор застосовувався в обсязі 6–9 %.

2. Як стабілізуючий фактор структури порошкоподібної ВР застосовувалось деревне борошно, що вбирало і концентрувало дизпаливо і упереджувало міграцію дизпалива і нітрогліколю. Загальний об'єм дизпалива у ВР регулювався кількістю деревного борошна, вміст його змінювався від 1,0 до 3,0 % через 0,5 %.

3. Як оксидант використовувалась калійна селітра, що вирізняється ендотермічним характером розкладання і утворенням твердих продуктів з порівняно високою теплотою в процесі вибухового перетворення. Це дозволило суттєво знизити теплоту вибуху і кількість газоподібних продуктів детонації ВР. Кількість оксиданта визначалася з урахуванням того, що вуглець, який входить до складу дизпалива мав окислитися до CO_2 . Таке проектування ВР дозволило отримати додаткові кисневі баланси і дало змогу отримати тверді продукти (карбонати) при вибуховому розкладанні ВР.

4. Після доведення до 100 % складу вибухової суміші, що містить нітрогліколь, динітротолуол, деревне борошно, розрахункову кількість нітрату калію, отримані іонообмінні системи $\text{KNO}_3\text{--NH}_4\text{Cl}$ (перша група ВР) або еквімолекулярні суміші $\text{KNO}_3\text{--NaCl}$ (друга група ВР).

Описаними вище способами отримано в продуктах розкладання й інші тверді речовини з властивостями хлориду. Це також дозволило знизити кисневий баланс.

Принципи добору інгредієнтів для розроблених ВР показано на рис. 1.

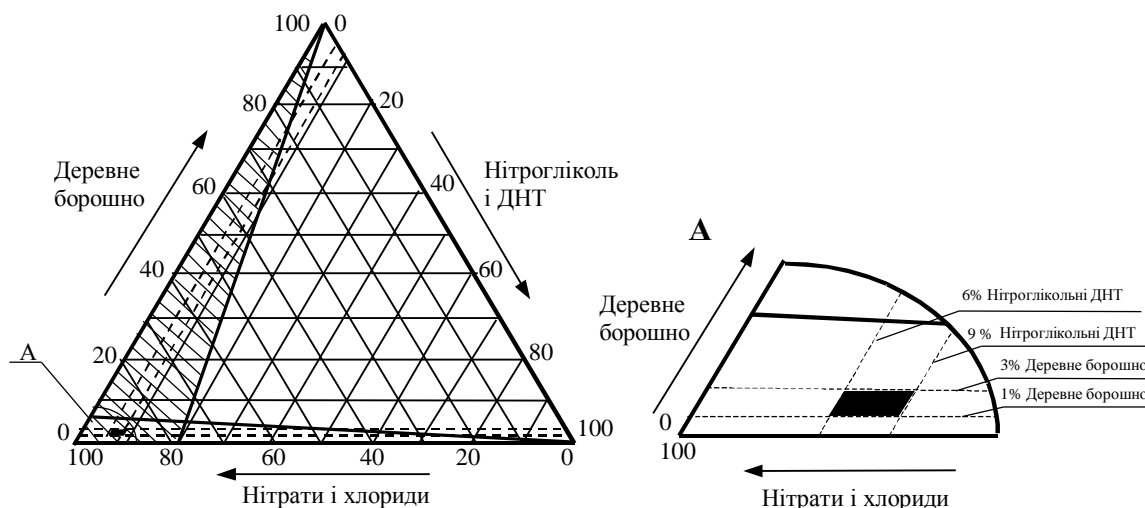


Рис.1. Принципи добору компонентів розроблених ВР

Обговорення результатів

Дві групи розроблених і отриманих ВР включали загалом 20 рецептур. Склади ВР, що випробовувались, наведено в табл. 1 і 2. Вони найбільш підходять під визначення іонообмінних ВР [10], [11] за виключенням тих, котрі містили близько половини нітрогліколю і близько 20–30 % чи більше оксидантів.

Залежність швидкості детонації від діаметра заряду дозволила встановити критичний і межовий діаметри ВР, що досліджувалися.

Залежність швидкості детонації досліджуваних ВР, сенсibilізованих 4 % динітрогліколю змінюється від 900 до 1100 м/с для діаметрів від 13,4 до 17,1 мм і до 1100–1300 м/с для діаметрів від 71,1 до 75 мм (рис. 2). Для патронів великого діаметра швидкість детонації стабілізується в межах 1100–1200 м/с.

Залежно від швидкості детонації досліджуваних ВР, сенсibilізованих 6 % нітрогліколю, швидкість детонації змінюється від 1200 до 1400 м/с для діаметрів 13,4 і 17,1 мм, і від 1400 до 1600 м/с для діаметрів 17,1 і 75,0 мм (рис. 2).

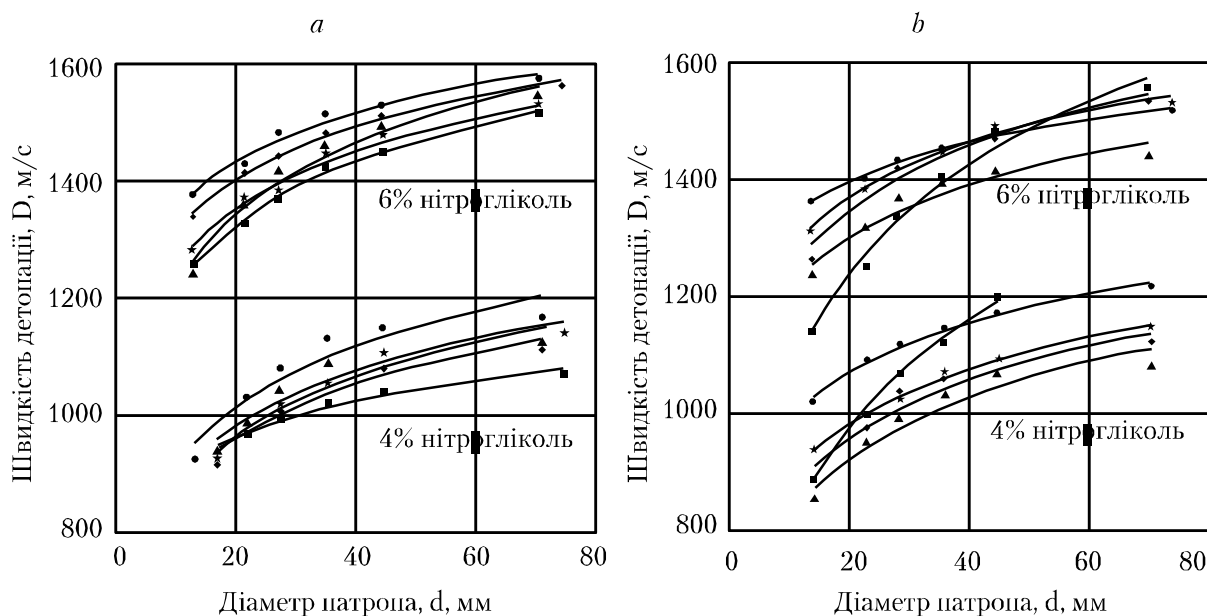


Рис.2. Залежність швидкості детонації від діаметра патрона для ВР: а - група 1; б - група 2;
 ○ - 1%, △ - 1,5%, □ - 2%, ◇ - 2,5%, ☆ - 3% деревного борошна

Таблиця 1

Вибухові речовини, які містять калійну селітру і хлорат амонію
Група 1. Компоненти щільності

№ з/п	KNO ₃	NH ₄ Cl	ДНТ	Деревне борошно	Нітро-гліколь	Насипна щільність	Щільність в патроні
	%	%	%	%	%	г/см ³	г/см ³
1	72,83	20,17	2,00	1,00	4,00	0,97	1,09
2	73,90	18,60	2,00	1,50	4,00	0,96	1,09
3	74,77	17,23	2,00	2,00	4,00	0,96	1,09
4	76,17	15,33	2,00	2,50	4,00	0,96	1,11
5	77,39	13,61	2,00	3,00	4,00	0,93	1,10
6	75,34	14,66	3,00	1,00	6,00	0,97	1,10
7	76,47	13,03	3,00	1,50	6,00	0,97	1,08
8	77,63	11,37	3,00	2,00	6,00	0,97	1,10
9	78,73	9,77	3,00	2,50	6,00	1,00	1,09
10	78,91	8,09	3,00	3,00	6,00	0,97	1,11

Таблиця 2

Вибухові речовини, які містять калійну селітру і хлористий натрій
Група 2. Компоненти щільності

№ з/п	KNO ₃	NaCl	ДНТ	Деревне борошно	Нітро-гліколь	Насипна щільність	Щільність в патроні
	%	%	%	%	%	г/см ³	г/см ³
1	7,63	21,37	2,00	1,00	4,00	1,05	1,10
2	72,80	19,70	2,00	1,50	4,00	0,97	1,08
3	73,85	18,25	2,00	2,00	4,00	0,99	1,09
4	75,26	16,24	2,00	2,50	4,00	1,01	1,11
5	76,59	14,41	2,00	3,00	4,00	0,95	1,10
6	74,47	15,53	3,00	1,00	6,00	1,08	1,09
7	75,70	13,80	3,00	1,50	6,00	0,94	1,08
8	76,86	12,04	3,00	2,00	6,00	0,98	1,11
9	78,16	10,38	3,00	2,50	6,00	0,97	1,09
10	79,43	8,57	3,00	3,00	6,00	0,90	1,10

В обох групах розроблених ВР спостерігались подібні залежності, причому визначальним фактором є вміст нітрогліколю.

Зміна швидкості детонації при подвійному збільшенні діаметра патрона з 35,8 до 71,1 або 75 мм невелика (близько 5,6 %). Цей факт свідчить про те, що швидкості детонації при більшому діаметрі патронів майже досягнуть межі.

З літературних джерел [1], [2] відомо, що нижня межа швидкості детонації для твердих ВР змінюється від 1000 до 2000 м/с. Однак при дослідженні гірничих ВР встановлено, що мінімальні швидкості детонації для аміачноселітрових ВР складають близько 900 м/с. Ці швидкості спостерігались авторами для патронів діаметром 10–12 мм, тобто для критичних діаметрів. З іншого боку, швидкості детонації цих ВР при діаметрі 32 мм були значно більшими, і з характеру залежності між D і діаметром заряду автори зробили висновок, що ці швидкості не є межею.

Швидкість детонації досліджуваних ВР не залежала від потужності ініціатора в умовах тестів. Вона залишилась незмінною (в межах похибки вимірювання), навіть якщо патрони ВР ініціювалися бойовиком масою 50 г ТГ (тротилу з гексогеном). Ці результати є ще одним доказом факту, що детонаційний характер перетворення ВР, про який іде мова, є ідеальним [12], [13].

Швидкість детонації досліджуваних ВР залежно від виду оболонки змінюється незначно. Невелике збільшення швидкості детонації можна спостерігати в сталій трубі порівняно з трубами ПХВ і воно складає до 1,85 %. Це збільшення D, можливо, є наслідком великого діаметра сталій труби (39 мм) порівняно з ПХВ трубою (35,8 мм), а не типу оболонки. Це підтверджується результатами дослідження залежності D від діаметра патрона (рис. 2).

Слабкий вплив сили ініціатора і типу оболонки на швидкість детонації ВР, про який іде мова, дозволяє зробити висновок, що в умовах експерименту вона майже досягла верхньої межі. Цей факт є дуже сприятливим з точки зору практичного застосування ВР, що вивчалися. Дослідження швидкості

детонації проводились для ВР зі щільністю в патронах $1,1 \text{ г/см}^3$. Для менших щільностей швидкість детонації також зменшується. Зразковим може слугувати дослід № 3 з табл. 1, де щільність ВР в патроні обумовила швидкість детонації від 950 до 1200 м/с при зміні самої щільності від $0,99$ до $1,31 \text{ г/см}^3$ (рис. 3). В цих межах щільностей швидкість детонації (при похибці 2 %) визначається залежністю:

$$D = 212,15 + 735,23 \rho_N.$$

Критичні діаметри досліджуваних ВР складають від 8 до 14 мм. Критичні діаметри аміачноселітрових ВР дорівнюють 10–12 мм. Аммотол також мав подібний критичний діаметр.

З іншого боку, суміші нітрогліцерину (5 %) і хлориду амонію або хлориду натрію мали критичний діаметр близько 25 мм (NH_4Cl) і 10–18 мм (NaCl), залежно від щільності [9]. Кукіб, досліджуючи критичні діаметри названих сумішей, встановив, що зниження вмісту нітрогліцерину до 5 % супроводжується помітним збільшенням їх критичних діаметрів.

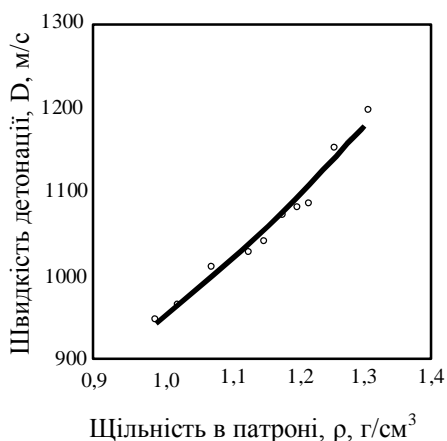


Рис. 3. Залежність швидкості детонації від щільності (ВР № 3 з табл. 1, $d_3 = 35,8 \text{ мм}$)

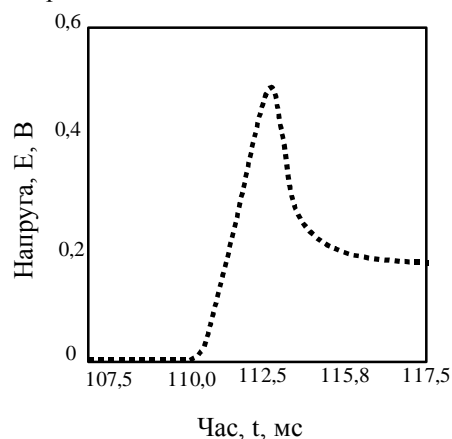


Рис. 4. Зміна напруги E в часі (ВР № 2 з табл. 2)

Наведені дослідження швидкості детонації вказують на значну подібність (до 2 %) між результатами, отриманими із застосуванням мікросекундних вимірювачів і отриманими з застосуванням електромагнітного методу. Ще більш важливо, що другий метод дозволяє продемонструвати, що вибухові перетворення досліджуваних ВР протікають в детонаційному режимі. Експеримент ясно показує (рис. 4) існування характерного стрибка тиску на фронті хвилі детонації. Це відповідає основному постулату гідродинамічної теорії ВР відносно типу хімічної реакції на фронті хвилі детонації [14], [15].

Електромагнітний метод дослідження повинен бути застосований при наближенні діаметра патронів до межі, коли детонаційні параметри стабілізуються. Наприклад в роботі Шведова різниця в значеннях детонаційного параметра (аміачно селітрових ВР) для діаметрів 80 і 100 мм складає 2,5 % [15]. В цій роботі досліди були проведені з діаметром 35,8 мм. Відмітності помічені для швидкості детонації при цьому діаметрі й удвічі більшому діаметрі (71,1 або 75 мм), складають не більше 5,6 %. З цього можна зробити висновок, що параметри хвилі детонації, які спостерігаються, наближаються до максимальних.

Підсумок

Розроблені склади ВР зі швидкістю детонації 1000–1600 м/с.

Встановлено детонаційний характер вибухового перетворення цих ВР з допомогою електромагнітного методу.

Отримані результати свідчать про точність висновків, зроблених відносно композицій з низькою швидкістю детонації.

Досліди з визначення залежності швидкості детонації від діаметра патрона дозволяють встановити її межове значення. Характер цих залежностей свідчить про неідеальність вибухового розкладання досліджуваних ВР.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Поздняков З.Г., Росси Б.Д. Справочник по промышленным взрывчатым веществам и средствам взрывания. – М.: Недра, 1977.
2. Андреев А.А., Беляев А.Ф. Теория взрывчатых веществ. – М.: Оборонгиз, 1960.

3. Патент №1499698, Франція, 1967.
4. Патент № 109130, Польща, 1977.
5. Патент № 94826, Польща, 1975.
6. Патент № 74133509, Японія, 1974.
7. Старокожев В.Д., Дубнов Л.В., Бахаревич Н.С., Васильева В.С. Исследование селективно-детонирующих предохранительных ВВ // Взрывное дело. 63/20. – М.: Недра, 1967. – С. 136–152.
8. Патент № 132963, Польща, 1982.
9. Кукиб Б.Н. Исследование селективности взрывчатого превращения ионообменных ВВ // Взрывное дело. 68/25. – М.: Недра, 1970. – С. 209–214.
10. Патент № 1540664, Франція, 1967.
11. Патент № 111022, Польща, 1976.
12. Шведов К.К., Колдунов С.А., Дремин А.Н. О стационарности «Детонации с малой скоростью» в твердых порошкообразных ВВ // Физика горения и взрыва. – 1973. – Т. 9. – № 3. – С. 424–428.
13. Бабайцев И.В., Колдунов Б.Н., Паукова З.В., Тышевич В.Ф. О детонации литых взрывчатых веществ с малой скоростью // Физика горения и взрыва. – 1969. – Т. 5, № 3. – С. 326–330.
14. Дубовик А.В., Боболев В.К. Детонация с малой скоростью в твердых порошкообразных ВВ // Взрывное дело. – 63/20. – М.: Недра, 1967. – С. 72–76.
15. Шведов К.К., Дремин А.Н. О параметрах детонации промышленных ВВ и их сравнительной оценке // Взрывное дело. – 76/33. – М.: Недра, 1976. – С. 137–150.

КРАВЕЦЬ Віктор Георгійович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри геобудівництва та гірничих технологій Інституту енергозбереження та енергоменеджменту Національного технічного університету України “КПІ”.

Наукові інтереси:

- вибухові роботи;
- геобудівництво.

Тел.: 441-10-84.

E-mail: undergeo@svitonline.com

ВОЄВОДКА Анджей – доктор філософії, керівник лабораторії промислових вибухових матеріалів хімічного факультету Сілезького технічного університету (Польща).

Наукові інтереси:

- теорія промислових вибухових матеріалів.

КОСЕНКО Тетяна Володимирівна – інженер кафедри геобудівництва та гірничих технологій Інституту енергозбереження та енергоменеджменту Національного технічного університету України “КПІ”.

Наукові інтереси:

- якісне відокремлення монолітів від масиву.

Тел.: 441-10-84.

E-mail: undergeo@svitonline.com

Подано 23.01.2004.

Кравець В.Г., Восводка А., Косенко Т.В. Принципи добору низькошвидкісних вибухових речовин
Кравець В.Г., Воеводка А., Косенко Т.В. Принципы подбора низкоскоростных взрывчатых веществ.
Kravets V., Voevodka A., Kosenko T. Principles of ingredients selection for low-speed blasting materials.

УДК 662.235

Принципи добору низькошвидкісних вибухових речовин / Кравець В.Г., Восводка А., Косенко Т.В. //

В роботі викладено головні принципи добору інгредієнтів для низькошвидкісних вибухових речовин. Розроблені склади ВР із швидкістю детонації 1000-1600 м/с. Встановлена залежність швидкості детонації досліджуваних ВР від діаметра патрона і щільності ВР в патроні.

УДК 662.235

Принципы подбора низкоскоростных взрывчатых веществ / Кравець В.Г., Воеводка А., Косенко Т.В. //

В работе изложены основные принципы подбора ингредиентов для низкоскоростных взрывчатых веществ. Разработаны составы ВВ со скоростью детонации 1000-1600 м/с. Установлена зависимость скорости детонации исследуемых ВВ от диаметра патрона и плотности ВВ в патроне.

УДК 662.235

Principles of ingredients selection for low-speed blasting materials / Kravets V., Voevodka A., Kosenko T.//

In the work viewed basic principles of ingredients selection for low-speed blasting materials. Created blasting materials with detonation speed 1000-1600 m/s. Determined relation between detonation speed and cartridge diameter and explosives density for researched blasting materials.