

ВИБІР ЕНЕРГЕТИЧНО ОПТИМАЛЬНИХ РЕЦЕПТУР ВИБУХОВИХ СУМІШЕЙ НА ОСНОВІ УТИЛІЗОВАНИХ ВИБУХОВИХ РЕЧОВИН

*В. Г. Кравець, докт. техн. наук, А. Л. Ган, магістр (НТУУ «КПІ»),
А. Воєводка, докт. техн. наук (Сілезький технічний університет, РП),
А. А. Желтоножко, докт. техн. наук (ДержНДІХП)*

Рассмотрены рецептуры низкоскоростных смесевых взрывчатых веществ на основе утилизированных ВВ, предназначенные для мягкого отделения блочного камня от массива.

Formulations of low-velocity composite explosives on the basis of utilized explosives for soft splitting stone blocks from rock mass are considered.

В Україні розвідано близько 300 родовищ декоративного каменю, які представлені переважно високоміцними породами: гранітами, лабрадоритами, андезитами, габро та інш. [1]. Декоративний камінь широко використовується в різноманітних галузях народного господарства: архітектурі, будівництві, художньому промислі – здебільшого у вигляді пластинчастих виробів. У зв'язку з цим особлива увага у каменерізанні звертається на вихідну міцність відділених від масиву блоків, оскільки вона визначає процент втрат сировини через природні та набуті при видобуванні дефекти блочної продукції.

В Україні для відділення блочного каменю від масиву застосовується ряд невибухових та вибухових технологій. В останніх найчастіше застосовують димний порох, який має значну чутливість до теплових і механічних впливів і високу гігроскопічність, що ускладнює його використання.

За кордоном і в Україні на сучасних кам'яних кар'єрах використовуються пластикові зарядні трубки (К-заряди) фінської фірми „Форсіт” [3]. Однак вибухова суміш в К-зарядах на основі аміачної селітри з нітроефірами недостатньо водостійка і не може використовуватися в обводнених умовах. Крім того, склад вибухової суміші в К-трубці передбачає застосування дефіцитної модифікації кремнезему, що негативно позначається на економічній стороні використання К-зарядів.

Заряди такого ж типу розроблено в Швеції („Гурит-А”). Однак вони мають порівняно високу швидкість детонації (близько 4000 м/с), яка супроводжується підвищеними параметрами ударної хвилі на межі з породою і перешкоджає м'якому відділенню блоку від масиву [3].

В Росії Санкт-Петербурзьким гірничим інститутом у співробітництві з СКТБ “Технолог” були вперше створені для робіт на блочних кар'єрах трубчасті заряди типу “Гранилен”, які є аналогом закордонних зразків [3].

В останні роки в Україні також ведуться пошуки можливості створення власних ефективних способів вибухового відділення блоків, які б виключили застосування небезпечних ВР – нітроефірів.

Встановлено, що для ефективного відділення блочного каменю від масиву вибуховий матеріал повинен мати швидкість детонації від 1800 м/с до 2300 м/с при критичному діаметрі детонації не більше 30 мм. В наших дослідженнях при розробленні низькошвидкісних вибухових сумішей в їх рецептурі використовуються замість нітроєфірів потужні конверсійні речовини. В цій статті викладено результати досліджень ефективності сумішей, в склад яких входить одна з утилізованих ВР (табл. 1, 2). При розгляді характеристик досліджуваних утилізованих ВР – МС, А-ІХ-1, А-ІХ-2 та амотолу (табл. 3) видно, що при відносно малому критичному діаметрі зарядів цих ВР швидкість детонації становить 4700...5000 м/с, тобто в чистому вигляді вибухові складові з такою швидкістю детонації непридатні для м'якого відбивання блочного каменю. Оскільки недоліком утилізованих ВР є велика кількість газів, що утворюються при вибуху, в тому числі токсичних, то при доборі компонентів повинен враховуватися і екологічний фактор.

Визначалися основні характеристики гіпотетичних складів сумішевих ВР на основі перхлорату калію з додаванням утилізованих вибухових матеріалів, що містять гексоген, а також амотолу. Як каталізатори розкладу KClO_4 використовувалися двоокис титану TiO_2 і азотнокислий барій $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$. Як допоміжний горючий матеріал, для поліпшення органолептичних властивостей і зменшення злежування у вибуховий склад доцільно додавати дизельне пальне.

Для вибраних рецептур виконано термодинамічні розрахунки за методом Авакяна, який дозволяє теоретично визначити енергетичні і вибухові характеристики ВР: теплоту вибуху, температуру, об'єм газів при вибуху, кисневий баланс, детонаційний тиск, швидкість детонації, працездатність та інш. [6] з метою їх попередньої оцінки (табл. 4). У цій таблиці наведено також визначені експериментально методом конуса з кутом розкриття 5° значення критичного діаметра та визначені на зарядах діаметром 52 мм значення швидкості детонації сумішей. Узагальнюючи ці дані, можна відзначити, що для сумішей на основі А-ІХ-І критичний діаметр $d_{\text{кр}}$ змінюється в межах 24...30 мм при швидкості детонації $D = 1920...1970$ м/с, для сумішей на основі А-ІХ-2 $d_{\text{кр}} = 26...28$ мм при $D = 1950...1980$ м/с, для сумішей на основі МС $d_{\text{кр}} = 19...21$ мм, $D = 2630...2810$ м/с. Таким чином, експериментальні результати досліджень свідчать про досягнення поставленої мети – отримання низькошвидкісних вибухових сумішей, які не вмщують нітроєфіри, з прийнятним критичним діаметром, що відповідає вимогам технології відділення блочного каменю системою шпурових зарядів або свердловинних зарядів малого діаметра.

З метою визначення кількості газів, що виділяються при підриванні зразків сумішевих ВР № 1...11, були проведені розрахунки з використанням багатоцільової програми „Астра” – „Моделювання хімічних та фазових рівноваг при високих температурах”. Ця програма призначена для визначення характеристик рівноваги, фазового та хімічного складу різних систем. В основу програми покладено універсальний термодинамічний метод визначення характеристик рівноваги гетерогенних систем, що ґрунтується на фундаментальному принципі максимуму ентропії. Програма дозволяє провести розрахунки кількості та складу утворених газоподібних продуктів згорання

Таблиця 1. Компонентний склад досліджуваних сумішевих ВР на основі утилізованих ВР

Найменування компонентів	Номери та склад зразків сумішевих ВР										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Перхлорат калію	88,0	91,0	89,0	82,0	83,0	89,0	87,0	93,0	86,0	87,0	85,0
А-ІХ-1	–	–	5,0	8,0	10,0	–	–	–	–	–	–
А-ІХ-2	–	–	–	–	–	5	8	–	–	–	–
МС	–	–	–	–	–	–	–	5	8	–	–
Амотол	–	–	–	–	–	–	–	–	–	7	10
Барій азотнокислий	5,0	5,0	–	3,0	4,0	3,0	3,0	–	3,0	3,0	3,0
Двоокис титану	4,0	–	3,0	3,0	3,0	–	2,0	2,0	–	–	2,0
Дизельне пальне	3,0	4,0	3,0	4,0	–	3,0	–	–	3,0	3,0	–

Таблиця 2. Хімічний склад сумішевих ВР на основі утилізованих ВР

Найменування компонентів	Номери та склад зразків сумішевих ВР										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Перхлорат калію KClO_4	88,0	91,0	89,0	82,0	83,0	89,0	87,0	93,0	86,0	87,0	85,0
Гексоген $\text{C}_3\text{H}_6\text{N}_6\text{O}_6$	–	–	5,0	8,0	10,0	3,8	6,1	2,9	4,6	–	–
Тротил $\text{C}_7\text{H}_5\text{N}_3\text{O}_6$	–	–	–	–	–	–	–	0,9	1,5	1,4	2,0
Алюміній Al	–	–	–	–	–	1,0	1,6	0,9	1,4	–	–
Церезин C_7H_{16}	–	–	–	–	–	0,2	0,3	0,3	0,5	–	–
Аміачна селітра NH_4NO_3	–	–	–	–	–	–	–	–	–	5,6	8,0
Барій азотнокислий $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$	5,0	5,0	–	3,0	4,0	3,0	3,0	–	3,0	3,0	3,0
Двоокис титану TiO_2	4,0	–	3,0	3,0	3,0	–	2,0	2,0	–	–	2,0
Дизельне пальне $\text{C}_{16}\text{H}_{34}$	3,0	4,0	3,0	4,0	–	3,0	–	–	3,0	3,0	–

Таблиця 3. Характеристики досліджуваних утилізованих ВР

Характеристики	МС	А-ІХ-1	А-ІХ-2	Амотол
Критичний діаметр, мм	15...20	20	20	40...50
Швидкість детонації, м/с	5400	6000	5800	4700

(з надлишком окиснювача) з використанням вищих валентностей елементів та гетерогенних середовищ за фронтом ударної хвилі. Результати розрахунків наведено у табл. 5.

З табл. 4 видно, що всі зразки мають позитивний кисневий баланс, що обумовлено досить високим вмістом перхлорату калію. З аналізу термодинамічних розрахунків можна зробити висновок, що вимоги до швидкості детонації та енергетичних характеристик може задовольнити рецептура на основі перхлорату калію з додаванням каталізаторів розкладу та пального. Однак така суміш має великий критичний діаметр детонації і потребує потужного імпульсу для підривання [4]. Тому введення в склад вибухової суміші утилізованих вибухових матеріалів А-ІХ-1, А-ІХ-2, МС або амотолу дозволить поліпшити умови її ініціювання при зменшеному критичному діаметрі.

Згідно з термодинамічними розрахунками оптимальними серед досліджених низькошвидкісних сумішевих ВР є рецептури на основі суміші утилізованих вибухових матеріалів та окиснювача – перхлорату калію з домішками, тобто: утилізована ВР (А-ІХ-1 або А-ІХ-2) – 8...10 %; перхлорат калію – 83...88 %; каталізатори розкладу перхлорату калію – до 6 %.

Аналіз даних табл. 5 показує, що при вибуху сумішевих ВР виділяється багато кисню, оскільки кисневий баланс ВР позитивний. Із нетоксичних газів виділяються пара води, двоокис вуглецю, водень та азот, які є складовими атмосферного повітря. При вибуху зразків № 5 та № 7 вміст токсичного газу – оксиду вуглецю (СО) не перевищує 1 моль/кг, що забезпечується відповідним кисневим балансом ВР. У газових продуктах присутня також невелика кількість оксиду азоту (NO) – до 0,5 моль/кг і менше.

При вибуху складу, в якому як окиснювач використовується KClO_4 , у газовій суміші присутні хлор та незначна кількість HCl . Із хлорвмісних продуктів розкладу ВР найбільше конденсованих або пилоподібних часток солі KCl . Із конденсованих продуктів також присутні сліди окисів титану та барію.

В цілому газовий склад продуктів вибуху за вмістом токсичних газів знаходиться на рівні газового складу запобіжних ВР, одним із компонентів яких є NaCl . Враховуючи те, що на блочних кар'єрах відбивання каменю проводять незначною кількістю ВР (до 30...40 кг), екологічний стан атмосфери при вибуху ВР за розрахунками буде задовільним.

Отже, термодинамічні розрахунки досліджуваних ВР показують, що варіюючи вміст активних компонентів утилізованих ВР, таких як А-ІХ-1, А-ІХ-2, і вводячи до складу окиснювача інертну домішку та інші технологічні домішки, можна отримати придатні для відбивання блочного каменю сумішеві ВР, які не поступаються за детонаційними та технологічними характеристиками зарубіжним аналогам.

Враховуючи те, що програми по визначенню термодинамічних параметрів вибухових сумішей побудовані на певних припущеннях, остаточна рецептура має бути відкоригована з урахуванням вибухових характеристик (швидкості детонації, критичного діаметру, повноти детонації), підтверджених на практиці.

1. *Іськов С. С.* Особливості розробки родовищ декоративного каменю і значення геометризації їх основних властивостей для удосконалення технології видобування блоків. – Вісник ЖІТІ. – № 3(30). – 2004. – 80 с.
2. *Шиллинг Н. А.* Курс дымных порохов. – М., 1940. – 230 с.
3. *Блюмельфельд В. М.* Рациональный способ добычи гранитных блоков. – Горный журнал. – № 6. – 1996. – 78 с.
4. *Силин Н. А., Ващенко В. А., Зарипов Н. И.* и др. Окислители гетерогенных конденсированных систем. – М.: Машиностроение, 1978. – 65 с.
5. *Блинов И. Ф.* Хлоратные и перхлоратные взрывчатые вещества. – М.: Оборонгиз, 1941. – 315 с.
6. *Авакян Г. А.* Расчет энергетических и взрывчатых характеристик ВВ. – Учеб. пособие. – М., 1964. – 410 с.