

Низькошвидкісні заряди для відбійки блочного каменю

Шифр „К-ЗАРЯДИ”

ЗМІСТ

	Стор.
ВСТУП	3
1 ЛІТЕРАТУРНО -АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД	5
2 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА	8
2.1 Вибір рецептури сумішних вибухових речовин	8
2.2 Проведення термодинамічних розрахунків сумішних ВР	12
2.3 Виготовлення дослідних зразків подовжених вибухових зарядів	14
2.3.1 Виготовлення дослідних зразків низькошвидкістних сумішей	14
2.3.2 Виготовлення полімерних оболонок для вибухових зарядів	16
2.3.3 Спорядження подовжених зарядів	18
2.4 Визначення вибухових характеристик	20
2.4.1 Визначення критичного діаметру детонації	20
2.4.2 Визначення повноти детонації	20
2.4.3 Визначення швидкості детонації	21
2.4.4 Аналіз отриманих даних	22
ВИСНОВКИ	25
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	26
Додаток А. Висновок про встановлення дати подання заявки на винахід «Вибуховий склад»	
Додаток Б. Акт випробувань на виробництві	

ВСТУП

В Україні розвідано близько 300 родовищ облицювального (декоративного) каменю, які представлені переважно високоміцними породами: граніти, лабрадорити, андезити, габро та інші [1]. Декоративний камінь широко використовується в різноманітних галузях народного господарства – архітектурі, будівництві, художньому каменерізанні. На відміну від родовищ інших корисних копалин (залізних руд, вугілля, будівельних порід) способи видобування і переробки для родовищ облицювального каменя повинні забезпечувати:

- збереження властивості каменя;
- максимально можливий вихід блоків з корисної копалини, що розроблюється;
- збереження монолітності масиву корисної копалини;
- зниження витрат каменю при його видобуванні;
- максимально можливе комплексне використання сировини.

Існує декілька способів відокремлення блоку від масиву: за допомогою проморожування шпурів, вибуховий спосіб з застосуванням лише димного пороху або двох ниток детонуючого шнура (ДШ), та найбільш прогресивний в даний час – вибуховий спосіб, але з використанням техніки м'якого вибуху з допомогою спеціально для цього розроблених зарядів.

На зміну малопродуктивному методу видобутку крупних монолітів за допомогою проморожування шпурів прийшов вибуховий спосіб з розташуванням у шпурі двох ниток ДШ. Однак від цього способу стали відмовлятися через низьку продуктивність, а також через утворення макро-мікро тріщинуватості блоків і втратою ними природних властивостей. Детонуючий шнур не відповідає вимогам збереження блоків, що добуваються, в зв'язку з тим, що його швидкість детонації висока і складає 6,2-6,5 км/с.

Ураховуючи ці недоліки, в провідних по буровибухових технологіях державах світу було розроблено і почато застосування для видобутку блочного каменю зарядів з низькою швидкістю детонації в пластиковій оболонці, так званих К-зарядів або К-труб.

Виходячи з вищенаведених переваг і дослідів, проведених закордонними вченими, а також підвищенням попиту на продукцію, яка виготовляється з

блочного каменю, нами запропонована розробка конструкції подовжених зарядів вітчизняного виробництва (типу К-труб).

Такого роду заряди в Європі випускаються шведською фірмою *Dino Nobel* за назвою *Gurit* і фінською фірмою *OY Forcit AB* [2].

Корпус К-заряду виготовляється з пластмасової трубки, усередину якої засипається порошкоподібна ВР на основі нітрогліцерину, динітродігліколю та кремнезему. Кінець трубки обладнано сполучною муфтою з гальмівними крильцями (фіксатором), яка дозволяє розташувати К-заряд в заданому місці шпуру, а також здійснити його центрування в шпурі. Ініціювання здійснюється за допомогою детонуючого шнура (ДШ) з наважкою 10-12 г на погонний метр, що контактує з кожною К-трубкою в шпурі.

1 ЛІТЕРАТУРНО-АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД

На даний час в Україні для відбійки блочного каменю застосовується димний порох, детонуючий шнур та імпорتنі заряди. Димний порох має низьку швидкість детонації близько 500 м/с при щільності 1,0-1,5 г/см², тобто можна сказати, що його вибухове перетворення відбувається в дефлаграційному режимі [3]. Об'єм газоподібних продуктів вибуху димного порошу складає в середньому близько 280 л/кг, калорійність 720 ккал/кг.

Димний порох має ряд позитивних властивостей:

- невисока швидкість вибухового горіння (300-600 м/с), що робить більш тривалим вплив на масив, чим при використанні будь-якого іншої ВР із більш високими швидкостями детонації;

- низький піковий тиск у ході вибухового горіння, що мінімізує руйнування масиву в районі місцевої дії вибуху.

Але димний порох має високу чутливість до механічних впливів, а також високу гігроскопічність. Хоча димний порох має температуру спалаху 290-310⁰С, він легко вибухає при виникненні іскри від удару каменю по каменю, чи метал по металу, що робить його заряджання у шпури дуже небезпечним. Висока гігроскопічність приводить в туманну або дощову погоду до відказів його запалювання, та нестабільності його властивостей при вибуховому горінні. Велика лінійна маса димного порошу на погонний метр шпура, висока небезпечність при експлуатації, шкідливі умови праці та низька культура виробництва роблять неможливим подальше використання димного порошу.

Фінськими вченими проводилися випробування, у ході яких порівнювали тріщини, що утворюються навколо шпуру при видобутку блочного каменю з використанням К-труб, чорного порошу і деяких інших ВР фінського виробництва, а також ДШ із наважкою 40 г/м. Було виявлено, що найменша кількість і довжина тріщин у граніті утворюється в ході проведення робіт з видобутку блочного каменю з використанням К-труб (викликане вибухом руйнування каменю та поява тріщин тільки на 2 см товщини блоку, на відміну від ДШ із наважкою 40 г/м, при використанні якого були виявлені одиночні тріщини довжиною до 65 см).

Наявність тріщин так само спостерігалось і при використанні інших ВР під час видобутку блочного каменю, хоча і меншої довжини, чим у випадку застосування ДШ із наважкою 40 г/м.

За кордоном на всіх сучасних кам'яних кар'єрах використовується техніка м'якого вибуху з застосуванням спеціальних пластикових зарядів, таких як пластикові зарядні трубки (К-заряди) фінської фірми „Форсіт” [1,4]. Вибуховий склад К-зарядів фінської фірми „Форсіт” для відбійки блочного каменю має швидкість детонації 1,8 -2,1 км/с при критичному діаметрі ~17 мм та щільність 0,95-1,05 г/см³. При цьому об'єм газів, що виділяються при розкладі ВР складає до 160 л/кг. Калорійність такого вибухового складу 358 ккал/кг.

Вибухова суміш трубчастого К-заряду вміщує нітроефири (суміш нітрогліцерину і нітрогліколю) та кремнезем. Нітроефири визивають головну біль при попаданні на шкіру людини або від впливу забрудненого ними повітря. Це потребує застосування персональних засобів захисту (резинові рукавички, респіратори, тощо). Крім цього у вибуховій суміші К-зарядів недостатня водостійкість, що не дозволяє їх експлуатацію в обводнених шпурах.

Достоїнством К-зарядів є:

- простота заряджання;
- відсутність розсипів ВР, що підвищує безпеку робіт на кар'єрі;
- легкість регулювання кількості ВР у шпурі;
- можливість просторового розташування К-зарядів;
- наявність повітряного прошарку між зарядом і стінками шпуру знижує як піковий тиск, що створюється при детонації, так і кількість і розміри тріщин у відокремлюваному блоці;
- використання ДШ дає можливість ініціювати К-заряди, що знаходяться в шпурі, практично одночасно, створюючи тим самим рівні навантаження по всій довжині шпуру;
- зниження кількості викидів шкідливих речовин в атмосферу, унаслідок меншої кількості виділюваних газів (160 л/кг), навіть у порівнянні з чорним порохом (280 л/кг);
- зменшення витрат ВР у порівнянні з димним порохом.

Заряди такого ж типу розроблено в Швеції („Гурит-А”). Однак вони, на наш погляд, мають дещо високу швидкість детонації (4,0 км/с), що не дозволяє провести м’якого відділення блоку від масиву [1].

В Росії в 1993 році Ленінградським гірничим інститутом у співробітництві з СКТБ “Технолог” були створені для робіт на блочних кар’єрах трубчасті заряди марки “Гранилен”, які є аналогом вищезазначених закордонних пластикових зарядів [5,6].

Низька швидкість детонації при високій щільності, невисока чутливість до механічних впливів, технологічність при заряджанні шпурів, безпечність при перевезенні та використанні забезпечують перспективність зарядів “Гранилен”.

Таблиця 1 Порівняльні характеристики вибухових речовин
для відбійки блочного каменю

Характеристики	Гурит-А	Форсіт	Димний порох	Грани лен-1	Грани лен-2	Грани лен-3
Щільність заряду, г/см ³	1,0-1,3	0,95	0,9-1,0	1,86	1,87	1,86
Швидкість детонації, м/с	4000	1700-2000	1200-1600	1500	2600	2400
Теплота вибуху, кДж/кг	3800	1200-1500	3024	1550	2670	2070
Лінійна маса ВР, кг/м	0,11-0,24	0,11-0,24	0,80-1,20	0,14	0,28	0,36
Об’єм газів, л/кг	404	160	280	416	490	440
Діаметр заряду, мм	11-17	11-17	32-42	11,5	15,0	17,0
Діаметр шпуру, мм	23-43	27-32	32-42	28-32	32-42	42-50

Відомо, що деякі піротехнічні суміші, які складаються з окислювача і горючого [7] можуть мати низькі швидкість детонації, теплоту вибуху та критичний діаметр детонації. Тому нами поставлена задача вирішення проблеми розробки низькошвидкісних вибухових речовин для відбійки блочного каменю нетрадиційним шляхом використання піротехнічних сумішей.

2 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

2.1 Вибір рецептури сумішних вибухових речовин

В даній роботі розглянуті питання, пов'язані з розробкою низькошвидкісних складів та зарядів на їх основі для відбійки блочного каменю.

При виборі рецептур ВР для відбійки блочного каменя керувались технічними показниками: це швидкість детонації, критичний діаметр детонації. Крім того світовий досвід показує, що склади ВР для відбійки блочного каменю повинні мати невисоку калорійність, низьке значення об'єму газів, що виділяються при вибуховому розкладі ВР та низьку гігроскопічність. Таким вимогам найбільш відповідають піротехнічні склади.

Відомо, що піротехнічні склади komponуються на основі окислювача та пального[7]. При виборі окислювача були розглянуті: нітрати, хлорати, перхлорати, що широко використовуються в різних галузях господарства України, наприклад, в піротехнічних сумішах та твердих ракетних паливах [8,9]. В якості пального передбачалось використовувати дизельне паливо та конверсійні гексенмісткі вибухові матеріали.

З нітратів найбільш поширені аміачна селітра NH_4NO_3 , калієва селітра KNO_3 , нітрат натрію NaNO_3 та ін. Найбільш цікава з цих окислювачів є аміачна селітра. При розкладі NH_4NO_3 утворюються тільки газоподібні речовини. Вона має низьку чутливість до механічних впливів, відносно невисокий вміст вільного кисню (кисневий баланс плюс 20). До недоліків NH_4NO_3 слід віднести високу гігроскопічність, високу температуру продуктів згоряння та теплоту вибуху (3400 К та 850 кДж/кг відповідно), а також великий об'єм газоподібних продуктів 850 л/кг. Виходячи з цих даних аміачна селітра не придатна для компоновки вибухової суміші з характеристиками.

Нітрат калію KNO_3 – використовується для виготовлення димного пороху. Він має позитивний кисневий баланс 47, його температура розкладу близько 400⁰С. Розчинність у воді 31,6 г на 100мл, що обумовлює високу гігроскопічність.

Нітрат натрію NaNO_3 - кисневий баланс + 56, температура розкладу 380⁰С, розчинність в воді 88 г на 100мл (дуже гігроскопічний).

Враховуючі високу розчинність у воді нітратів калію та натрію, що обумовлює високу гігроскопічність складів на їх основі, використання цих окислювачів недоцільно.

З хлоратів найбільш широке застосування має хлорат калію KClO_3 (бертолетова сіль). Однак суміші на основі хлорату калію відзначаються високою чутливістю до удару, тертя та теплових дій. Хлорат калію гігроскопічний, його розчинність у воді складає 73 г/л при температурі 20 °С. Сухий хлорат калію вогнетривкий та вибухонебезпечний.

З перхлоратів основним окислювачем для твердих ракетних палив є перхлорат амонію NH_4ClO_4 (ПХА). Кисневий баланс NH_4ClO_4 плюс 34 %, розчинність у воді 208,45 г/л розчину при температурі 20 °С. Чутливість до механічних впливів залежить від вологості перхлорату амонію: чутливість сухого ПХА до удару - 80-100% за стандартною пробою, до тертя – 56% при тиску 3600 кг/см² (360МПа). ПХА має низькі енергетичні показники, тому для їх підвищення вводять бризантні ВР, металеві порошки. Однак це приводить до підвищення чутливості ПХА до механічних впливів. Тверді ракетні палива на основі ПХА та бризантних ВР дуже небезпечні при виготовленні та експлуатації, що робить проблематичним використання ПХА для рецептур для відбійки блочного каменю.

Перхлорат натрію NaClO_4 має великий вміст вільного кисню (57%) і високу щільність (2,5 г/см³). Однак широкому використанню перхлорату натрію перешкоджає висока гігроскопічність і чутливість до зовнішніх механічних впливів.

Перхлорат калію KClO_4 відноситься до числа окислювачів, які давно використовуються в сумішних твердих паливах. Він має кисневий баланс плюс 46%, високу щільність 2,5 кг/м³, низькі гігроскопічність (розчинність у воді при 50° С 4,9%) та злежуємість. При розкладі перхлорат калію виділяє мало тепла (0,6 кДж/моль), калорійність 103 ккал/моль та нездатний до горіння без пального. Для розкладу перхлорату калію необхідні каталізатори, в якості яких застосовують окисли практично всіх металів [9]. Розклад KClO_4 також прискорюється добавкою азотнокислого барію $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$. Позитивною якістю KClO_4 є також те, що при розкладі він виділяє до 180 л/кг газоподібних продуктів.

З точки зору безпеки при використанні, низьких енергетичних показників (низької калорійності та малому об'єму газоподібних продуктів при розкладі), високій стабільності, з розглянутих і доступних окислювачів перхлорат калію найбільш підходить для компоновки рецептур сумішних ВР для відбійки блочного каменю. Однак, $KClO_4$ трудно розкладається і потребує використання каталізаторів розкладу, в якості котрих вибрані двоокис титану TiO_2 .

Для виконання термодинамічних розрахунків сумішних рецептур вибухових речовин для відбійки блочного каменю проведений вибір гіпотетичних рецептур на основі перхлорату калію, каталізаторів розкладу та гексенмістких утилізованих матеріалів. В якості допоміжного пального та для поліпшення органолептичних якостей, а також зменшення злежування, в склад добавляли дизельне паливо.

Двоокис титану - кристалічний порошок білого кольору. Хімічно не активний. Температура плавлення $1840^{\circ}C$. У воді не розчинний, стійкий до дії кислот та луг.

Гексенмісткі утилізовані суміші (ГУСи) [4,10], вилучені з боєприпасів при їх розпорядженні, представляють собою:

-А-ІХ-І - флегматизований гексоген, однорідна сипуча крихта жовтогарячих кольорів;

-А-ІХ-2 – суміш флегматизованого гексогену з алюмінієм, однорідна сипуча крихта сірого або коричневого кольору;

-МС - суміш тротилу, флегматизованого гексогену й алюмінію. Однорідна сипуча крихта ясно-коричневих кольорів.

На основі аналізу вищесказаного обрано склади сумішних ВР та співвідношення компонентів для проведення термодинамічних розрахунків.

У таблиці 2.1 наведений компонентний склад сумішних ВР на основі $KClO_4$, каталізаторів розкладу та гексенмістких матеріалів А-ІХ-1, А-ІХ-2. За результатами проведених термодинамічних розрахунків буде обрано оптимальний склад з характеристиками, що забезпечать вимогам до низькошвидкісних ВР.

Таблиця 2.1 Компонентний склад сумішних ВР на основі KClO_4

Найменування компонентів	Номери та склад зразків сумішних ВР										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Перхлорат калію	95,0	94,0	89,0	85,0	87,0	92,0	90,0	93,0	89,0	97,0	97,0
A-IX-1	-	-	5,0	8,0	10,0	-	-	-	-	-	-
A-IX-2	-	-	-	-	-	5	8	-	-	-	-
МС	-	-	-	-	-	-	-	5	8	-	-
Двоокис титану	2,0	2,0	3,0	3,0	3,0	-	2,0	2,0	-	-	3,0
Дизельне пальне	3,0	4,0	3,0	4,0	-	3,0	-	-	3,0	3,0	-

2.2 Проведення термодинамічних розрахунків сумішних ВР

При розробці складів сумішних ВР на основі утилізованих вибухових матеріалів проводили термодинамічні розрахунки з метою попередньої оцінки їх працездатності за методом Авакяна [11]. Отримані термодинамічні розрахунки дозволяють прогнозувати здатність сумішних ВР до подрібнення гірських порід. До важливих факторів відносять показники теоретичної енергії сумішних ВР – теплоти вибуху, швидкості детонації, об'єму газів при вибуху, фугасності, детонаційного тиску та ін. Теплота вибуху є найбільш важливою характеристикою вибухових матеріалів, від якої залежить швидкість детонації, температура вибуху, працездатність і загальна дія вибуху. За теплою вибуху оцінювали ефективність сумішних ВР та загальну дію вибуху. Чим більше тепла виділяють при підриві сумішні ВР, тим вище їх працездатність.

Сумішні ВР повинні мати невисоку швидкість детонації (від 1800 до 2300 м/с) для забезпечення м'якої відбійки блоків без пошкоджень[12]. Швидкість детонації характеризує швидкість звільнення теплової енергії, яка міститься у вибуховій речовині. З підвищенням швидкості детонації росте енергія ударної хвилі, що сприяє підвищенню ступеню подрібнення негабариту. Швидкість детонації сумішних ВР має значний вплив на величину тиску на фронті детонаційної хвилі. Детонаційний тиск викликає при вибуху подрібнення гірських порід, що підриваються, у безпосередній зоні від заряду і характеризує бризантні властивості ВР.

Термодинамічні розрахунки сумішних ВР проводили за методом Авакяна, який дозволяє робити розрахунки енергетичних і вибухових характеристик ВР: теплоти вибуху, температури вибуху, об'єму газів при вибуху, кисневого балансу, швидкості детонації, фугасності та ін. [11].

Термодинамічні характеристики вибухових сумішей на основі KClO_4 , каталітичних добавок та утилізованих А-ІХ-1, А-ІХ-2, МС наведені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 Термодинамічні характеристики вибухових сумішей на основі KClO_4

Характеристики	Номери зразків та їх характеристики										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Кисневий баланс, %	31,8	29,7	28,2	23,2	36,1	28,5	37,3	41,8	25,2	30,7	40,3
Теплота вибуху, кДж/кг	1027	1368	1795	2595	1821	2222	1751	1274	2612	1674	1035
Температура вибуху, К	1295	1912	1970	3000	1230	2425	1580	1100	2738	2020	1857
Об'єм газів, л/кг	313	319	335	600	314	319	307	314	340	350	346
Швидкість детонації, м/с	1750	2400	2590	3100	1800	3080	1800	1200	3360	2760	1140
Фугасність, см^3	188	238	249	322	177	310	240	170	325	260	150

Примітка: Компонентний склад зразків згідно їх номерів приведено в табл. 2.1.

Результати термодинамічних розрахунків показали, що вибір компонентів для сумішних низькошвидкісних ВР зроблено правильно. З таблиці 2.2 видно, що всі зразки мають позитивний (додатний) кисневий баланс, що обумовлено достатньо високим вмістом перхлорату калію. З аналізу термодинамічних розрахунків можна зробити висновок, що вимоги по швидкості детонації та енергетичним характеристикам може задовольнити рецептура на основі перхлорату калію з домішками каталізаторів розкладу та пального. Однак, дана суміш може мати велике значення критичного діаметру детонації і потребує потужного імпульсу для підриву [13-15]. Тому введення в склад вибухової суміші утилізованих вибухових матеріалів А-ІХ-1, А-ІХ-2, МС дозволить поліпшити її ініціювання (підрив) та знизити критичний діаметр до заданих вимог.

На основі аналізу даних термодинамічних розрахунків проведено вибір оптимальних рецептури сумішних ВР, які по своїм характеристикам відповідають вимогам до сумішних ВР для відбійки блочного каменю, %:

- перхлорат калію	- 87±1
- двоокис титану	- 2,5±0,5
- А-ІХ-1, А-ІХ-2, МС	-7±0,5
- дизельне паливо	-4±0,5

2.3 Виготовлення дослідних зразків трубчатих зарядів вибухових сумішей

2.3.1 Виготовлення дослідних зразків вибухових сумішей

Дослідні зразки низькошвидкісних вибухових сумішей виготовляли з метою відпрацювання технології та дослідження їх вибухових характеристик.

Для проведення досліджень використовували наступні компоненти:

- перхлорат калію (калій хлорнокислий) ТУ 6-09-3801-76;
- двоокис титану ГОСТ 9808-84;
- гексенмісткі утилізовані суміші ТУ У 24.6-14015318-148-2003;
- дизельне паливо ГОСТ 305-82.

Технологічна схема виготовлення вибухових сумішей складалась з чотирьох основних стадій:

- підготовка компонентів: сушка, подрібнення, просіювання;

- змішування компонентів;
- виготовлення полімерних оболонок;
- виготовлення подовжених трубчатих зарядів.

Компоненти, які поступають на виробництво, вміщують різну кількість вологи. Волога відіграє велике значення в сумішних ВР, так як вона впливає на злежуємість ВР, їх працездатність та чутливість до запалення.

Перхлорат калію має низьку гігроскопічність, однак його вологість потрібно підтримувати на рівні не більше 0,2%, тому його обов'язково сушили при температурі 45-50⁰С впродовж 4-5 годин.

Окисли металів сушили при температурі 100-120⁰С впродовж 1 години.

Перхлорат калію подрібнювали у кульовому млині з фарфоровими кулями впродовж 20 хвилин, висушували у сушильній шафі при (при 45⁰С перхлорат калію) впродовж 5 годин, потім проводили кінцеве подрібнення у кульовому млині та просівали через сито №0315. Підготовка двоокису титану складалась з операції сушіння при температурі 85⁰С впродовж 5 годин та протирання через №0250.

Підготовка гексгенмістких сумішей складалась з їх подрібнення та просівання. Подрібнення гексгенмістких сумішей проводилась у дослідній майстерні на гідравлічному пресі П-50 з дистанційним керуванням. У нашому випадку конверсійні вибухові гексгенмісткі матеріали подрібнювали на гідравлічних пресах типу П-50 з дистанційним управлінням. У відповідності з початковим розміром кусків подрібнюваних матеріалів на пресі встановлювали кінцевий вимикач, переміщенням якого регулювали обмеження величини ходу преса (переміщення нижньої плити). Вимикач обмежував хід плити ступінчато – 45 мм, 20 мм, 10 мм, 3 мм. Зусилля руйнування конверсійних шашок А-ІХ-1, А-ІХ-2, МС склало 20-23 кг/см², тобто такі низькі величини тиску руйнування шашок (кусків) не являються небезпечними, так як чутливість до тертя досліджуваних матеріалів на два порядки більше. Тим не менше процес подрібнення проводили дистанційно. Подрібнені гексгенмісткі суміші просівали через сито 0,56 мм.

Змішування компонентів (приготування суміші) проводили у лабораторному змішувачі СРК-3.

У змішувач завантажували перхлорат калію та азотнокислий барій та перемішували впродовж 5 хвилин. Далі завантажували двоокис титану і ще перемішували 5 хвилин. Додавали у змішувач гексгенмістку суміш і перемішували 20 хвилин. Потім доливали дизельне паливо та перемішували ще 10 хвилин. Одержана суміш мала вигляд вологої порошкоподібної маси.

2.3.2 Виготовлення полімерних оболонок для вибухових зарядів

Паралельно з розробкою вибухового складу проводилася робота з підбору методів виготовлення пластмасових оболонок - трубок з гальмівними крильцями (фіксатором) для подовжених зарядів.

У ході роботи було обрано метод екструзії для одержання тонкостінних труб для корпусу заряду. Виготовлення полімерних оболонок для подовжених зарядів проводили на лабораторній екструзійній лінії виготовлення електроізоляційних оболонок, яка складається з екструдера одноступінчатого, формуючого інструменту, термостату, калібруючого пристрою, системи охолодження плаву, тягового пристрою з профільними гумовими валками. Формуючу голівку було виконано під діаметр 26мм і товщину стінок до 1мм.

Екструзійна лінія містить в собі екструдер, в бункер якого завантажується полімерний матеріал. Під час обертання шнеку відбувається захоплення гранул полімерного матеріалу з бункеру та переміщення його вздовж вісі шнеку. Під час переміщення матеріал нагрівається за допомогою нагріваючих елементів, поступово переходячи у в'язко-текучий стан в зоні пластикації циліндру екструдера, та потрапляє в зону дозування, де проходить гомогенізація та нагрів до необхідної температури. Далі плав потрапляє у формуючу голівку, де він приймає необхідну форму. З формуючої голівки плав потрапляє до калібруючого пристрою, де виконується фіксація необхідної форми та розмірів трубки. Після цього трубка потрапляє до охолоджуючого пристрою, де здійснюється остаточне охолодження трубки та закріплення її форми. Для регулювання товщини стінки трубки використовують тягнучий пристрій. Далі трубка потрапляє до пристрою різки, де виконується різання трубки необхідного розміру.

Для зменшення витрати води і для можливості регулювання температури калібруючого пристрою використовується термостат, який дає можливість підібрати режими охолодження і фіксації форми пластмаси, тим самим не допускаючи усадочних процесів, які можуть привести до короблення одержуваної трубки.

Розрізані по розмірах трубки надходять на операцію формування днища трубки. Виготовлення днища здійснюється з гранульованого полімеру, необхідна кількість якого засипається в металевий стакан. Далі стакан нагрівається за допомогою електричного нагрівного пристрою. Регулювання температурі здійснюється за допомогою лабораторного трансформатора.

Після приведення полімеру у в'язкий стан в стакан вставляється пластикова трубка, одягнена на спеціальний пуансон. Після витримки трубки не менш десяти секунд у такому положенні далі здійснюється пресування, після чого здійснюється охолодження стакану. Потім трубку з днищем знімають зі стакану та пуансону.

Оболонки та сполучні поліетиленові муфти виготовлялися з поліетилену високого тиску марки ПЕВТ15803-020 ГОСТ16337-77 при наступних параметрах:

- температура зони дозування - 175°C;
- температура зони пластикації – 140°C;
- температура формуючого пристрою – 180°C;
- температура води для термостатування калібруючого пристрою – 50°C;
- швидкість отримання трубки - 0,5 м/хв;
- температура плаву для формування дна - 200° С;
- температура води для приведення трубки у еластичний стан під час виготовлення з'єднуючої муфти – 80° С;

Оболонки мали наступні геометричні розміри:

- зовнішній діаметр 26 мм при товщині стінки 1мм;
- довжину 500 мм.

Наступним етапом виготовлення полімерних оболонок зарядів є формування дна трубки. Операція формування дна трубки починається з плавлення полімеру в спеціальній матриці, яка нагрівається до необхідної температури. Потім трубка

необхідної довжини надягається на пуансон так, щоб пуансон не доходив до її краю на 3-4мм. Після цього пуансон опускається в матрицю, притискається та втримується у такому положенні деякий час. Потім матрицю з пуансоном охолоджують та здійснюють вилучення готового виробу з пуансону.

Для виготовлення з'єднуючих муфт використовували трубки того ж діаметру, що і для корпусу заряду. Для того, щоб з'єднуюча муфта надівалася на трубку, збільшували діаметр трубки, з якої вона виготовлена. Збільшення діаметру трубки здійснювали за допомогою спеціальної насадки, на яку надівали трубку попередньо розігріту до еластичного стану в ванні з гарячою водою. Після цього трубку з насадкою знову розташовували у ванні з гарячою водою для зниження релаксаційних процесів. Потім на місці розташування кружка, який не дає висипатися ВР, формується бортик за допомогою обжимного пристрою. Оперення для муфти нарізується за допомогою спеціального пристрою. Потім вирубуються кружки з листового поліетилену, які вставляються в корпус з'єднуючої муфти.

Основними параметрами, які необхідно визначити при виготовленні з'єднуючої муфти, є температура води у ванні та найменший час витримки трубки у воді для приведення її у еластичний стан.

У ході відпрацювання технології виготовлення з'єднуючих муфт визначили, що оптимальна температура води 80-85°C та час витримки трубки у воді для насадження на трубку 20сек. Час витримки насадженої трубки на насадку у воді для послідуєчого формування бортика приблизно 1хв.

2.3.3 Спорядження подовжених зарядів

Виготовлення подовжених зарядів проводили в лабораторних умовах. Отриману суміш вручну через лійку засипали у підготовлені поліетиленові оболонки на лабораторному столі. Маса суміші в оболонці залежить від довжини виготовлює мого заряду. Суміш в оболонці при патрунуванні постійно струшували для рівномірного заповнення. При необхідності проводили ущільнення суміші в оболонці з допомогою дерев'яного пуансону. Заряд з сумішшю закривали сполучною поліетиленовою муфтою. Насипна щільність суміші в оболонці становила 0,95-1,05 г/см³. Заряд з вибуховою сумішшю закривали сполучною

муфтою. Технологічна схема виготовлення подовжених зарядів представлена на рисунку 2.1.

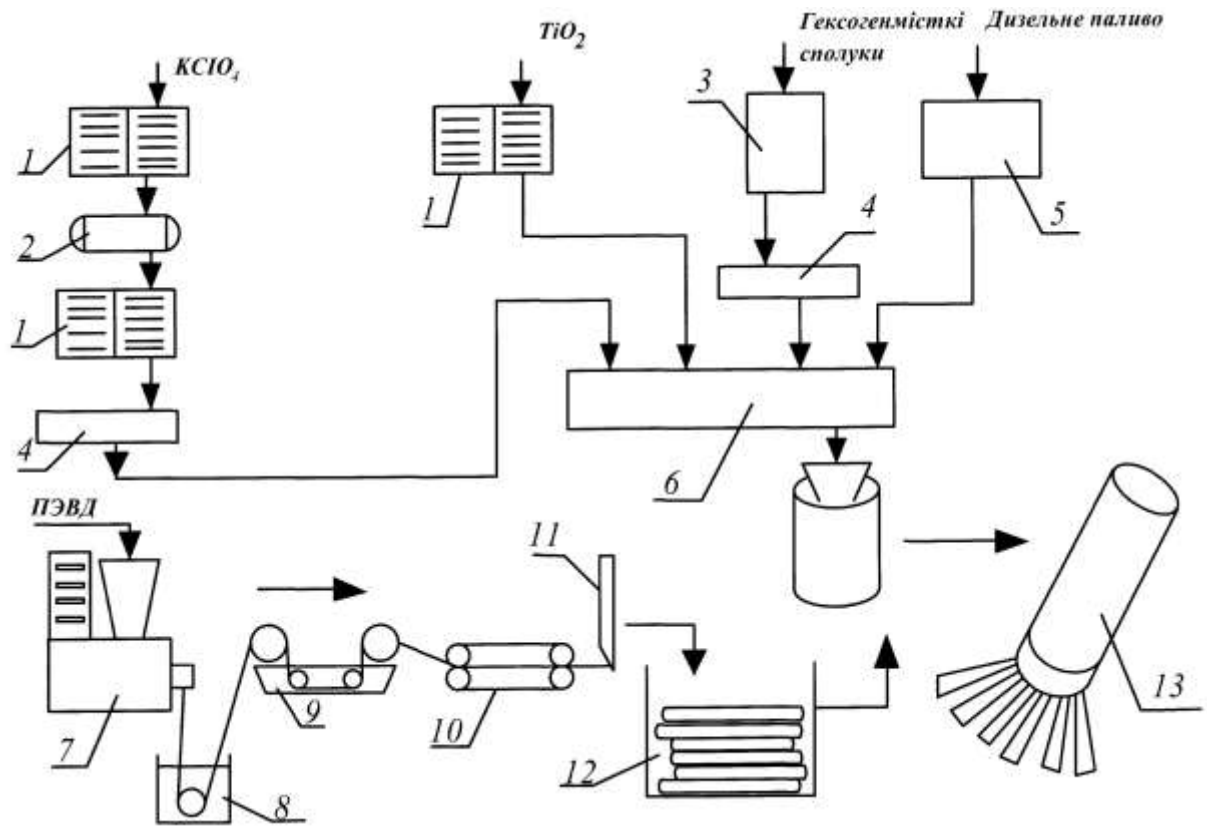


Рис. 2.1 Технологічна схема виготовлення зарядів

- 1- сушилки
- 2- кульовий млин
- 3- підготовка гексогенмістких сполук
- 4- сита
- 5- ємність для дизпалива
- 6- змішувач
- 7- екструдер
- 8- протяжка та охолодження
- 9- охолодження
- 10- транспортер
- 11- різка
- 12- накопичувач трубок
- 13- подовжений заряд

2.4 Визначення вибухових характеристик

Визначення вибухових характеристик проводили на дослідній станції Державного науково-дослідного інституту хімічних продуктів.

2.4.1 Визначення критичного діаметра детонації

Критичний діаметр детонації складу визначали в зарядах конічної форми, у яких діаметр основи був свідомо більше шуканого критичного діаметра.

Заряд конічної форми виготовляли з паперу для патронування. Діаметр основи конуса становив 40 мм, довжина – 50 см, кут конусності 5° . Уздовж конуса були нанесені поділki, що позначають локальний діаметр конуса. Заповнення конуса ПВР проводили невеликими порціями, ущільнюючи ПВР струшуванням, щоб усунути порожнечі. Маса ПВР у конічному заряді - 300 г. Ініціювання конусного заряду здійснювали електродетонатором миттєвої дії ЕД-8. Діаметр, при якому відбулося загасання детонації заряду, установили на остачі конуса після вибуху. Проводили по три паралельних випробування.

Конусні заряди із запобіжної ВР детонували не повністю, виявлені залишки конусів, що дозволило попередньо визначити величину критичного діаметра детонації. Критичний діаметр детонації ВР склав 18-21 мм. Значення критичного діаметру детонації уточняли в циліндричних оболонках з діаметром близьким до визначеного методом конуса з шагом 0,5см. Уточнене значення критичного діаметру склало 18-19 мм.

2.4.2 Визначення повноти детонації

Визначення повноти детонації ПВР проводили за ДСТ 14839.19 метод А на зарядах у поліетиленовій оболонці діаметром 30 мм, довжиною 300 мм, масою 220г. Ініціювання зарядів здійснювали електродетонатором ЕД-8. Заряди по черзі укладали на підіривній площадці й робили підіривання. Про повноту детонації судили по наявності воронки та відсутності залишків ВР після вибуху. Проводили по три паралельних випробування.

Про повноту детонації судили по відсутності залишків ВВ після вибуху. Всі патрони із ВР вище зазначеного складу діаметром 30 мм детонували повністю.

2.4.3 Визначення швидкості детонації

Швидкість детонації ВР визначали методом Дотришу, заснованому на порівнянні відомої швидкості детонації шнура, що детонує (ДШ) з невідомою швидкістю детонації випробуваної ВР.

Діаметр випробуваного заряду (Дз) становив не менш $2D_{кр}$, де $D_{кр}$ – критичний діаметр детонації. Довжина заряду - не менш п'яти діаметрів заряду.

Для проведення випробувань використовували заряди із ВР діаметром 40 мм, довжиною 300 мм і масою 370г у поліетиленовій оболонці, та детонуючий шнур марки ДШЭ-12 зі швидкістю детонації 6,2 км/с.

На бічній поверхні оболонки заряду намітили місця для установки в заряд кінців ДШ. Першу мітку (А) нанесли на відстані не менш $3 D_{кр}$ від верхнього торця заряду. Другу (В) – не менш $0,5 D_{кр}$ від нижнього торця заряду. Відстань між мітками прийняли за базу виміру L.

Від бухти ДШ брали відрізок довжиною не менш 4 м. Для запобігання висипання серцевини, зрізи на бухті й відрізка ДШ заклеювали липкою стрічкою. На середину відрізка нанесли мітку. Частина відрізка з міткою за допомогою липкої стрічки закріплювали над пластиною-фіксатором. Як пластину-фіксатор використали багатошарову фанеру розміром $650 \times 200 \times 25$ мм. Висота закріплення ДШ над пластиною-фіксатором від 20 до 30мм.

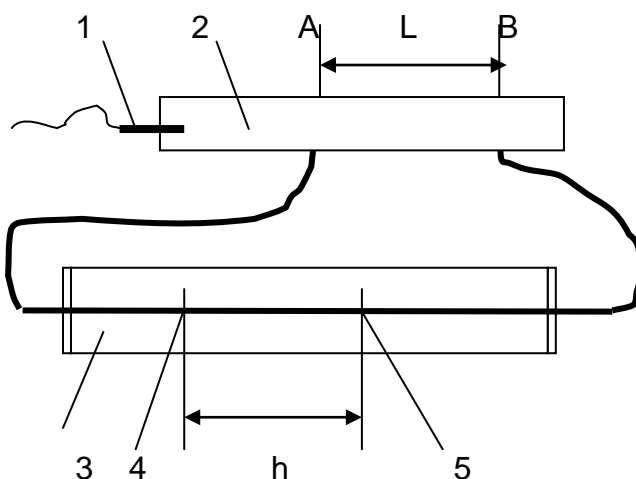


Рис. 2.1. Схема визначення швидкості детонації по Дотришу

- 1 - електродетонатор
- 2 - випробувана ВР

- 3 - пластина-фіксатор
- 4 - мітка середини відрізка ДШ
- 5 - слід від зустрічі детонаційних хвиль
- L - база виміру
- A, B - перша й друга мітка на заряді ВР

Зібраний заряд укладали на місці підриву. В оболонці заряду, у раніше розмічених місцях, перпендикулярно бічної поверхні зробили отвори й поглибили їх не більше ніж на 0,5 Дз. На максимально можливому видаленні від заряду розмістили пластина-фіксатор із закріпленим ДШ (схема наведена на малюнку 1). Зробили підрив заряду. Як ініціатор використали електродетонатор миттєвої дії ЕД-8. Після підриву на пластині-фіксаторі виміряли відстань h від мітки середини відрізка ДШ до сліду від зустрічі хвиль. Провели три паралельних випробування.

За результатами випробувань величину швидкості детонації U_d у м/с розраховували по формулі:

$$U = \frac{U_{ш} L}{2h}$$

де $U_{ш}$ - швидкість детонації шнура, км/с;

L - база виміру, м;

h - відстань від середини відрізка ДШ до сліду від зустрічі детонаційних хвиль, м.

Швидкість детонації випробуємої ВР склала 1,9-2,0 км/с, що відповідає результатам термодинамічних розрахунків.

2.4.4 Аналіз отриманих даних

В результаті проведених розрахункових та експериментальних робіт розроблені заряди піротехнічного типу для відбійки блочного каменю.

Таблиця 2.3 Фізико-хімічні та вибухові характеристики розроблених зарядів

Характеристики	Значення
Теплота вибуху, кДж (ккал/кг)	3024 (720)
Температура вибуху, К (С°)	1750 (1477)
Об'єм газів, л/кг	310
Кисневий баланс, %	26,5
Швидкість детонації, км/с	1,9-2,0
Критичний діаметр детонації, мм	18-20
Троїловий еквівалент	0,72
Щільність ВР в оболонці, г/см ²	0,95-1,05
Фугасність, мл	175
Чутливість до удару за ГОСТ-4545, нижня межа в приладі 2, %	36
Чутливість до тертя в приладі К-44-3, нижня межа, кг/см ²	3500

Із таблиці видно, що по теплоті вибуху, швидкості детонації та об'єму газів розроблені заряди знаходяться на рівні кращих світових зразків, наприклад „к-труб” фінського виробництва, які користуються великим попитом в Європі. Так як вибухова суміш знаходиться в герметичній трубці, зарядження шпурів може проводитися при любых погодних умовах, а гірники не мають прямого контакту з вибуховою речовиною. Це підвищить безпеку при виконанні вибухових робіт та культуру роботи на блочних кар'єрах. По результатах виконаних робіт опублікована стаття [16], а на принцип розробки вибухового складу піротехнічного типу одержано патент України №80948 від 26.11.07 [17].

Компоненти, які використовуються при виготовленні вибухового складу та зарядів доступні та не дорогі. В якості сенсibilізатору використовуються гексенмісткі матеріали, що поступають по конверсії.

Зовнішній вид розроблених подовжених зарядів представлений на рисунку 2.



Рис. 2.2 Подовжені заряди для відбійки блочного каменя

Діаметр зарядів визначається критичним діаметром детонації вибухової речовини і повинна складати не менш 20 мм. З розрахунку того, що діаметр шпурів, які бурять в Україні, складає 36 та 42 мм діаметр зарядів при необхідності можливо збільшувати. Довжина зарядів вибирається з виробничої необхідності і складає від 30см до 100 см і більше.

ВИСНОВКИ

1. Проведено аналіз літературних даних по способам відбійки блочного каменю.
2. Обґрунтовано вибір окислювача, каталізатору та утилізованих вибухових речовин для компоновки рецептур низькошвидкісних сумішних ВР. У якості окислювача вибрано перхлорат калію.
3. Проведено термодинамічні розрахунки гіпотетичних рецептур сумішних ВР.
4. На основі аналізу термодинамічних розрахунків обрано оптимальні склади сумішних ВР з вмістом окислювача перхлорату калію з каталізаторами розкладу та сенсibilізаторів утилізованих гексгенмістких ВР (А-ІХ-1, А-ІХ-2, МС), які по характеристикам відповідають вимогам до низькошвидкісних ВР.
5. Скомпоновано рецептури сумішних ВР на основі окислювача перхлорату калію та гексгенмістких ВР і відпрацьовані технологічні режими їх виготовлення в лабораторних умовах.
6. Вибрано конструкцію та відпрацьовано технологічні режими виготовлення полімерних оболонок подовжених зарядів з поліетилену високого тиску методом екструзії.
7. Виготовлено дослідні зразки подовжених зарядів для відбійки блочного каменю.
8. Досліджено вибухові характеристики подовжених зарядів: повноту детонації, критичний діаметр детонації, швидкість детонації.
9. Розроблені заряди для відбійки блочного каменю по своїм характеристикам знаходяться на рівні кращих світових зразків.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Іськов С.С. Особливості розробки родовищ декоративного каменю і значення геометризації їх основних властивостей для удосконалення технології видобування блоків. Стаття: Вісник Житомирського технологічного університету №3(30), 2004.
2. Product catalogue/ Nitro Nobel, Gyttorp. S-71382 Nora, Sweden- 64p.
3. Шиллинг Н.А. Курс дымных порохов. М., 1940
4. Блюмельфельд В.М. Рациональный способ добычи гранитных блоков. Стаття: Горный журнал № 6, 1996.
5. Щукин Ю.Г., Кутузов Б.Н. Промышленные взрывчатые вещества на основе утилизированных компонентов.
6. Международная научно-техническая конференция. Комплексная утилизация обычных видов боеприпасов. Сборник докладов. Москва. Издательство «Вооружение. Политика. Конверсия», 2001.
7. Шидловский А.А., Сидоров А.И., Силин Н.А. Пиротехника в народном хозяйстве.- М.: Машиностроение, 1978.
8. Силин Н.А., Ващенко В.А., Зарипов Н.И. и др. Окислители гетерогенных конденсированных систем. М., «Машиностроение», 1978.
9. Блинов И.Ф. Хлоратные и перхлоратные взрывчатые вещества. М.Оборонгиз, 1941.
10. Орлова Е.Ю. Химия и технология бризантных взрывчатых веществ.- Л.: Химия, 1981.-312с.
11. Авакян Г.А. Расчет энергетических и взрывчатых характеристик ВВ. Учебное пособие. М., 1964.
12. Желтоножка А.А., Закусило В.Р. Состояние и перспективы развития промышленных взрывчатых веществ и средств инициирования в Украине и за рубежом //Информационный бюллетень Украинского союза инженеров-взрывников-Днепропетровск.- 2009.- №3.- с. 6- 11.
13. Светлов Б.Я., Яременко Н.Е. Теория и свойства промышленных взрывчатых веществ. М., «Недра», 1973.
14. Андреев К. К., Беляев А. Ф. Теория взрывчатых веществ. М., Оборонгиз, 1960.
15. Юхансон К., Персон П. Детонация взрывчатых веществ. М., «Мир», 1973.

16. Закусило В.Р., Желтоножко А.А., Закусило Р. В., Бойко Л.В. Исследования по разработке взрывчатых зарядов для откола блочного камня и технологии их изготовления // Вестник Кременчугского государственного политехнического университета: Вип. 5/2005 (34), с.88-90.

17. Патент на винахід №80948 від 26.11.2007. Вибуховий склад. В.Р.Закусило, Л.В.Бойко, А.А.Желтоножко, В.І.Рутковський. - Опубл. 26.11.2007. Бюл. №19.