

ТЕХНОЛОГІЯ ВИБУХОПІДГОТОВКИ СКЕЛЬНИХ ГІРСЬКИХ ПОРІД ЕМУЛЬСІЙНОЮ ВИБУХОВОЮ РЕЧОВИНОЮ УКРАЇНІТ-ПП-1

СТРІЛЕЦЬ О.П.

Національний гірничий університет, Дніпропетровськ, Україна

Проблема руйнування гірського масиву була і залишається однією з найважливіших проблем гірничого виробництва. Якість подрібнення скельних гірських порід має великий вплив на подальші технологічні процеси всього гірничого виробництва, що в цілому визначає економічні показники гірничовидобувної промисловості.

Руйнування порід за допомогою енергії вибуху є універсальним і практично єдиним високоефективним способом підготовки скельних гірських порід до виймання. Однак підривні роботи в собівартості видобутку корисних копалин займають до 30%. При цьому ККД вибуху на подрібнення скельних гірських порід не перевищує декількох відсотків. Очевидно, що однією з найважливіших залишається проблема підвищення ефективності вибухового руйнування гірських порід. Актуальною також є проблема розробки нових екологічно чистих, безпечних та дешевих вибухових речовин (ВР) для гірничовидобувної промисловості. Головним завданням науки при вирішенні цих проблем є вдосконалення технології підривних робіт з врахуванням розвитку науки і техніки вибухової справи, механізму руйнування і способів керування цим механізмом, а також вдосконалення вибухових речовин.

Безсумнівно вибух є надзвичайно ефективним засобом руйнування гірського масиву, однак йому властива безліч добре відомих негативних явищ. Одне з них – утворення пілогазової хмари, що є нагальною проблемою особливо великих гірничорудних підприємств. Розробка екологічно безпечних способів ведення підривних робіт на гірничих підприємствах, створення методів зниження екологічних наслідків ведення підривних робіт, розробка екологічно безпечних ВР для гірничовидобувної промисловості дозволить знизити екологічне навантаження гірничорудних регіонів.

В останні роки розроблено багато нових емульсійних вибухових речовин (ЕВР). Для українських гірничих умов нами розроблена ЕВР україніт-ПП-1, яка відрізняється екологічною чистотою, економічністю і високими енергетичними показниками. Для їх впровадження у виробництво розроблені нові технологічні схеми виготовлення на місцях проведення вибуху, нові схеми комплексної механізації підривних робіт, розроблені засоби доставки компонентів ЕВР і способи заряджання свердловин на кар'єрах [1], розроблено та впроваджено у виробництво новий пристрій для ініціювання свердловинного заряду [2].

Нова вибухова речовина, яка була розроблена для гірничовидобувної промисловості України, допускає можливість її виготовлення безпосередньо на місцях застосування, що дозволяє істотно знизити

витрати на підривні роботи і зменшити небезпеку, пов'язану з транспортуванням і зберіганням порівняно з промисловими ВР. При розробці україніт-ПП-1 основною задачею була розробка вибухової суміші підвищеної енергії без вибухових сенсibiliзаторів і токсичних компонентів у продуктах детонації з високою водостійкістю і порівняно низькою в'язкістю та можливістю швидкого механізованого заряджання свердловин.

Сучасні вимоги гірничих підприємств потребують вдосконалення буровибухових робіт, тому метою цієї роботи є вдосконалення технології вибухопідготовки скельних гірських порід емульсійною вибуховою речовиною україніт-ПП-1.

Для досягнення мети поставлені наступні задачі досліджень:

- встановити оптимальні енергетичні домішки (порошки металів) для підвищення потужності ЕВР україніт;

- встановити вплив типу і фракційного складу енергетичної домішки на вибухові характеристики ЕВР україніт-ПП-1;

- вдосконалити технологію ініціювання свердловинного заряду ЕВР україніт-ПП-1.

Повна характеристика ВР налічує понад тридцять параметрів, значна частина яких представляє інтерес для спеціалістів з розробки і виготовлення ВР. Практичне значення при виборі ВР для руйнування гірських порід мають основні показники такі як: кисневий баланс, теплота вибуху, тиск і об'єм газів, а також працездатність, бризантність, чутливість, швидкість детонації і щільність.

Теоретичні розрахунки дозволяють визначити лише перших чотири показники, інші визначаються експериментально. Властивості традиційних вибухових речовин, застосовуваних у військовій справі, визначаються з дією вибуху: на бризантність – обтиснення свинцевого циліндра, та фугасність – визначення об'єму порожнини, утвореної при вибуху у свинцевій бомбі Трауцля. Для промислових ВР і вибухових речовин місцевого виготовлення, особливо малочутливих до ініціюючого імпульсу, ці випробування нічого не дають, оскільки критичні діаметри детонації таких ВР занадто великі. Розроблена нами ЕВР україніт-ПП-1 відноситься до таких ВР, тому для визначення вибухових властивостей, які визначаються експериментально, ми використовували методику визначення бризантності за середнім куском породи і воронкоутворенню в порівнянні зі штатною ВР граммоніт 79/21.

Корисна енергія вибуху, яка визначається постійною швидкістю детонації, максимальним ступенем завершення реакції, оптимальним діаметром заряду, може бути підвищена при відповідному збі-

льшенні швидкості реакції між окислювачем і пальним. Останнє можна досягти за рахунок зменшення розмірів часток цих компонентів, що призводить до збільшення їхньої питомої поверхні контакту. Інше вирішення цієї проблеми – це перебування компонентів ЕВР в такому стані, який забезпечує більш тісний контакт між окислювачем (аміачною селітрою) і пальним, у порівнянні з механічним змішуванням. Аміачна селітра дуже гігроскопічна, її легко перевести у розчин. В той же час нафтопродукти, із яких в основному і складається палильний компонент ЕВР, у воді не розчиняються. Щоб забезпечити контакт пального і окислювача на мікронному рівні необхідно додатково ввести поверхнево активну речовину (ПАР), яка б зменшила поверхневий натяг на межі поділу фаз. З багатьох ПАР необхідно вибрати таку дифільну сполуку, функціональні групи якої мали б спорідненість з водою, при високій розчинності в нафтопродукті. Досягнення необхідного співвідношення в ПАР гідрофільної і ліпофільної груп дозволяє отримати водостійку матрицю ЕВР, що являє собою обернену емульсію водного розчину окислювача в вуглеводневому середовищі.

Використання в якості дисперсної фази розчину аміачної селітри пов'язано зі значними технологічними труднощами, тому, що 90 % розчину аміачної селітри має температуру кристалізації 120 °С. Підтримувати таку температуру при виготовленні і застосуванні ЕВР у виробничих умовах кар'єрів небезпечно і найчастіше технологічно неможливо. Для зниження температури кристалізації розчину окислювача і температури виготовлення емульсії в якості дисперсного середовища застосовують бінарний розчин окислювача. Розглядаючи безліч компонентів які, могли б знизити температуру кристалізації, ми зупинилися на бінарній суміші аміачної і кальцієвої селітр. На підставі експериментальних випробувань побудована діаграма стану евтектичної системи $NH_4NO_3 - Ca(NO_3)_2 - H_2O$ (Рис. 1).

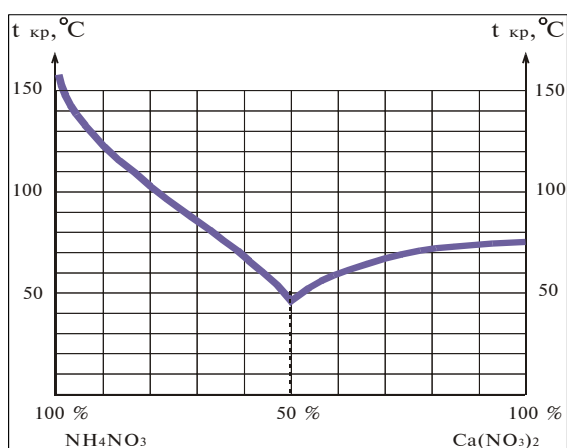


Рис. 1. Діаграма стану евтектичної системи $NH_4NO_3 - Ca(NO_3)_2 - H_2O$

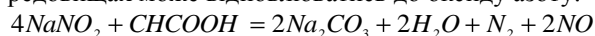
Бінарний розчин окислювача при евтектичному співвідношенні кальцієвої і аміачної селітр має температуру кристалізації лише 43°С, що дає змогу значно знизити температуру виготовлення та зберігання як розчину окислювача, так і емульсійної

композиції. Це забезпечує не тільки економію енергоресурсів, а й можливість застосування для виготовлення емульсії рідких нафтопродуктів з температурою спалаху не нижче 70°С.

Використання в складі емульсійної композиції кальцієвої селітри знижує температуру кристалізації окислювача, підвищує щільність і збільшує кисневий баланс ЕВР, що дає змогу підвищити вміст енергетичної домішки. Це позитивно позначається на експлуатаційних характеристиках ЕВР, що збільшує її бризантність і фугасність. Використання евтектичного співвідношення бінарного розчину аміачної і кальцієвої селітр як дисперсної фази, дозволяє отримувати нечутливі до випадкових впливів рецептури емульсійних композицій з різним кисневим балансом для виготовлення ЕВР типу україніт.

Емульсійна композиція малочутлива до ініціюючого імпульсу, тому для сенсibilізації емульсії можуть бути використані аеруючі або газогенеруючі домішки (ГГД), подрібнені індивідуальні вибухові речовини. При ініціюванні емульсій з аеруючими або газогенеруючими домішками вирішальне значення мають локальні процеси, пов'язані з утворенням "гарячих точок", які виникають в результаті кавітаційно-кумулятивної дії ударної хвилі. В зоні схлопування кавітаційних пухирів різко зростає тиск і температура (понад 1000 °С), що забезпечує стійку детонацію по всій масі заряду.

Зарубіжні фірми віддають перевагу сенсibilізації ЕВР газогенеруючими домішками, використовуючи для цього розчин нітриту натрію. При введенні в розчин $NaNO_2$, кислоти, наприклад, оцтової, утворюються мікробульбашки азоту. Але така сенсibilізація в умовах Кривбасу (термін готування заряду до вибуху складає до 6 діб, а інколи і більше) може призвести до нестійкої детонації, яка обумовлена неконтрольованим характером аерації емульсії, оскільки термін придатності ЕВР з газогенеруючими домішками, який вказаний у характеристиках зарубіжних ЕВР, становить до 5 діб. Крім того, нітрит натрію відноситься до токсичних речовин (2-й клас небезпеки за ГОСТ 12.1.007-76) і в слабкислих середовищах може відновлюватись до оксиду азоту:



Таким чином, застосування ГГД недоцільно з технологічних і екологічних причин. Більш прийнятним засобом сенсibilізації емульсій є введення до їх складу аеруючих домішок, якими є порожнисті скляні кульки з повітряними вклученнями (мікросфери) діаметром 100 – 150 мкм. Насипна щільність мікросфер 160 – 400 кг/м³. Міграція аеруючих домішок по об'єму емульсійної композиції не відбувається, що забезпечує стабільну детонацію ЕВР.

Для сенсibilізації емульсійної композиції при виготовленні ЕВР україніт-Д ми використовували спучений перлітовий пісок, який виготовляє ЗАТ "Керамперліт" (м. Київ). Розмір гранул становить від 10 до 700 мкм, насипна щільністю від 75 до 100 кг/м³. Теплота вибуху україніту-Д становить – 2810 кДж/кг.

Велика розбіжність у розмірі фракцій перліту зобов'язала нас провести ряд дослідних вибухів по встановленню вибухових характеристик україніту в залежності від фракційного складу перліту.

При проведенні контрольних випробувань в умовах полігону ДП “Запоріжвибухпром” порівнювали потужність вибухів за воронкоутворенням та середньому куску породи з еталоном, в якості якого виступала ВР грамоніт 79/21. За результатами досліджень нами встановлено, що потужність україніту-Д змінюється в залежності від фракційного складу перліту, а оптимальним розміром фракції є 100 – 350 мкм. Випробування україніту-Д в виробничих умовах ДП “Запоріжвибухпром” показали, що він має недостатню потужність вибуху для подрібненні міцних порід порівняно з грамонітом 79/21. Тверді аеруючі домішки в його складі не вступають в реакцію вибухового перетворення і поглинають енергію в зоні реакції.

Термодинамічні параметри емульсійних вибухових речовин, які містять алюміній, феросиліцій ФС 65.

Таблиця

№ складу ЕВР	Тип енергетичної домішки (сенсibilізатора)	Аміачна селітра,		Емульсійна композиція*,	Перліт,	КБ,	$Q_{\text{вib}}^{**}$, кДж/кг	$V_{\text{гв}}$ л/кг
		%	%					
1	Алюміній,	3	4,6	90,4	2	- 0,03	3388	739
2		4	9,6	84,4	2	- 0,06	3611	734
3		5	14,6	78,4	2	- 0,07	3836	730
4		6	19,6	72,4	2	- 0,09	4060	723
5		7	24,6	66,4	2	- 0,04	4288	721
6		8	29,6	60,4	2	- 0,05	4513	716
7	Феросиліцій ФС 65,	4	18,2	75,8	2	- 0,05	3368	750
8		5	22,8	70,2	2	- 0,05	3508	745
9		6	27,3	64,7	2	- 0,05	3648	739
10		7	31,9	59,1	2	- 0,05	3787	734
11		8	36,4	53,6	2	- 0,05	3927	728
12		9	41,0	48,0	2	- 0,05	4066	723

* Склад емульскому відповідає базовому співвідношенню компонентів за ТУ У 6-13441912.006-2001.

** Продуктом вибуху за стандартними умовами є вода-пара.

Виходячи з наведених даних, теплота вибуху ($Q_{\text{вib}}$) україніту-ПП-1 перевищує теплоту вибуху тротилу при введенні до її складу від 5 до 7 % високоенергетичних порошків. Кількість аміачної селітри в складі ВР регламентована збереженням кисневого балансу близького до нуля.

Контрольні і попередні випробування ЕВР в ДП “Запоріжвибухпром” підтвердили його високі вибухові характеристики [3]. Поряд з тим введення в емульсію значної кількості твердої фази (до 35 %) привело до збільшення в'язкості ЕВР в 4 – 5 разів, що негативно вплинуло на роботу відцентрових насосів 33М марки “Акватол” і не дозволило в деяких випадках (при 100 % обводненості) проводити заряджання свердловин під стовп води. Заряджання через воду призводить до порушення суцільності заряду і його флегматизації. Крім того, введення перліту в 33М марки “Акватол” супроводжується значним пилевиділенням, що погіршує умови праці. Тому була поставлена задача вилучити перліт зі складу ЕВР та знизити в'язкість продукту за рахунок зменшення вмісту твердої фази.

Для підвищення теплоти вибуху в емульсійну композицію можна вводити АС-ДТ. Але як показують термодинамічні розрахунки, навіть 50 % АС-ДТ у складі ЕВР теплоту вибуху збільшує лише до значень 3100 – 3300 кДж/кг, що значно нижче показників акватола ГЛТ-20 і грамоніту 79/21. Значне збільшення теплоти вибуху можна досягти при включенні до складу ЕВР порошків алюмінію або феросиліцію. Оскільки емульсійна композиція збалансована на нульовий кисневий баланс, то введення порошків металів порушить кисневий баланс. Отже необхідно вводити суміш компонентів порошку металу із окислювачем (аміачною селітрою), збалансовану на нульовий кисневий баланс.

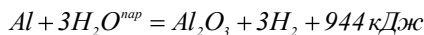
Термодинамічні параметри емульсійних вибухових речовин підвищеної потужності, які окрім емульскому і перліту містять суміш аміачної селітри з високо енергетичними порошками, наведені в таблиці.

Як відомо “гарячі точки”, які утворюються внаслідок адіабатичного стиску газів, що знаходяться в мікросферах чи спученому перлітовому піску, підвищують чутливість емульсії до удару. Але “гарячі точки” утворюються і внаслідок введення в емульсію твердих часток неправильної форми з високою температурою плавлення, які сприяють концентрації енергії удару на гострих кутах і за рахунок інтенсивного внутрішнього тертя утворюють в заряді багаточисельні точки локального розігріву, що призводить до вибуху. Це дало підставу провести контрольні випробування ЕВР україніт-ПП-1 з різними енергетичними домішками та фракційним складом і вмістом перліту на його вибухові характеристики. Аналіз результатів випробувань показав, що фракційний склад перліту на вибухові характеристики україніту-ПП-1 не впливає, а зменшення вмісту перліту покращує показники за воронкоутворенням і середнім куском породи в 1,2 – 1,8 рази порівняно з грамонітом 79/21. Найкращих результатів було досягнуто при повному вилученні перліту зі складу ЕВР [3]. Подальші випробування були направлені на вивчення впливу фракційного складу енергетичних

домішок, що дало можливість встановити його оптимальний склад 100 - 350 мкм.

Основною умовою стійкої детонації ЕВР є високий тепловий ефект реакції і значний діаметр заряду. Досягнення високого теплового ефекту здійснюється за рахунок введення порошоків алюмінію або феросиліцію (див. таблиця), які забезпечують механізм “теплого вибуху”, що виключає необхідність використовувати мікросфери чи газогенеруючі домішки як сенсibilізатори.

Суттєве значення має здатність порошоків металу до взаємодії не тільки з селітрою, а й з газоподібними продуктами реакції нітратних солей з вуглеводневим паливом. Як вважає Л.В.Дубнов [4], частки алюмінію окислюються також і на наступній стадії вибуху:



При високій температурі, яка відповідає зоні реакції в детонаційній хвилі, утворюються спочатку нижчі оксиди металів, зайвий алюміній може залишатися у вигляді металу. Термодинамічні розрахунки показують, що аналогічні процеси мають місце і при використанні порошоків феросиліцію.

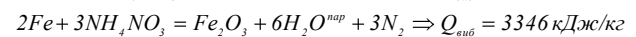
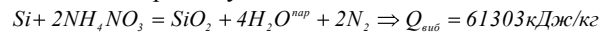
Виключення перліту зі складу україніту-ПП-1 зменшило його в'язкість, але за рахунок вмісту гранульованої аміачної селітри перекачування відцентровими помпами ЗЗМ типу “Акватол” залишилося неможливим. Закордоні гірничодобувні підприємства використовують подібні суміші, які отримали назву важкі АН-ФО. Для їх заряджання використовують ЗЗМ із шнековими помпами. Заряджання свердловин проводиться з устя свердловини. Такими ВР заряджаються лише сухі свердловини, які становлять понад 80% усіх свердловин. На рис. 2 показано процес заряджання таких свердловин ЗЗМ типу “Мультитрак”.



Рис. 2 Змішувально-зарядна машина типу “мультитрак”

Для можливості заряджання свердловин ЗЗМ типу “Акватол” під стовп води необхідно було перевести гранульовану аміачну селітру в склад емульсійної композиції в кількості необхідній для створення кисневого балансу $KB=0$ при введенні феросиліцію в кількості 4 – 7 %. Проведено ряд досліджень стабільності складу та його роботоспроможності. Проведені дослідження показали, що при введенні порошоків алюмінію або феросиліцію в емульсійну композицію можна отримати ЕВР підвищеної потужності, яка б руйнувала породи будь-якої міцності і обводненості. Поряд з цим виявлено, що ЕВР, яка містять алюміній, має підвищену фугасність і під час вибуху утворює занадто велику зону розльоту породи. Враховуючи також, що порошок алюмінію характеризується високою пожеже-вибухонебезпечністю, має велику ціну і в Україні не виробляється, було прийнято рішення про застосування в якості сенсibilізаторів у складі ЕВР порошоків феросиліцію.

Оскільки теплота вибуху при взаємодії феросиліцію з селітрами залежить від співвідношення у сплаві кремнію і заліза, нижче наведені теплові ефекти для відповідних реакцій, обчислені за законом Гесса за стандартних умов:



З наведених даних видно, що для використання в якості пального компонента перевагу має чистий кремній. Проте, контрольні і попередні випробування ЕВР, що містили як кремній дисперсний, так і феросиліцій ФС 65, показали, що працездатність ВР на основі феросиліцію є значно вищою [3]. Це обумовлено тим, що чистий кремній – напівпровідник. Електрофізичні властивості кремнію визначаються природою і концентрацією відповідних домішок металів. Як речовина з ковалентним зв'язком при низьких температурах кремній є хімічно інертним. При нагріванні його реакційна спроможність різко зростає і досягає максимального значення при температурі плавлення 1961°С. Завдяки утворенню оксидної плівки, що захищає поверхню кремнію, він стійкий до дії кисню навіть при високій температурі.

На відміну від кремнію феросиліцій при невисоких температурах більш реакційно спроможний. Тому при створенні нової вибухової речовини україніт-ПП-1 в якості енергетичної домішки використано порошок феросиліцію. Це забезпечило підвищення теплоти вибуху ЕВР до 4400 кДж/кг.

Для виключення пилоутворення при введенні в емульсійну композицію феросиліцію останній гідрофобізовано. Гідрофобізований феросиліцій отримав комерційну назву: “Промпродукт НМППМ-4” (ТУ У 24987206-005-2000 зі зміною № 1).

За результатами проведених досліджень, прийнято наступний склад україніту-ПП-1 (ТУ У 24.6-00190934-001-2003):

емульсійна композиція	– 93-96%,
промпродукт НМППМ-4	– 4 - 7%.

Теплота вибуху 4100-4400 кДж/кг, швидкість детонації 4300-4400 м/с та щільність 1,5-1,65 г/см³ україніту-ПП-1 дозволили збільшити концентрацію енергії понад 7000 кДж/дм³, що в цілому перевершило енергетичні показники кращих зарубіжних аналогів в 1,2-1,6 разів.

Як вважає Б.Н.Кутузов [5] понад 15% загальної кількості ВР повинні мати високі вибухові характеристики з великою концентрацією енергії, яка досягається за рахунок високої щільності, що дозволяє не тільки досягти інтенсивного подрібнення порід високої міцності, а ще й отримати вибухове зменшення частини кусків, за рахунок чого знижуються витрати на механічне подрібнення, збільшується вихід заліза в концентрат.

Для досягнення якісного подрібнення порід необхідно не тільки мати надто потужну вибухівку, а правильно використовувати її енергію. Для раціонального використання енергії вибуху ВР використовується безліч різноманітних схем і засобів підривання свердловинних зарядів. В останні роки добре зарекомендували себе нові засоби неелектричного

ініціювання свердловинних зарядів такі, як "NONEL", "PRIMADET", аналоги яких розроблені також в Росії та Україні.

Емульсійні вибухові речовини є малочутливими до ініціюючого імпульсу. Свердловинні заряди таких ВР необхідно ініціювати в декількох точках створюючи багатоточкове підривання. Досягти цього за рахунок "NONEL", "PRIMADET" чи інших аналогів на даний час практично неможливо, так як розбіжність в часі уповільнення між ступенями дуже велика, що становить мінімум 17 мс. Такий час уповільнення не дозволяє проводити послідовне багатоточкове підривання свердловини. Використання ініціаторів з однаковим ступенем уповільнення в декількох точках не дає бажаного результату оскільки свердловина розкривається починаючи з устя, що спричиняє вильоту набійки і продуктів детонації забруднюючи навколишнє середовище та зменшує якість подрібнення породи.

Для зменшення пилогазових викидів і покращення подрібнення породи нами розроблено пристрій для ініціювання свердловинного заряду, на який було отримано патент [2]. Цей пристрій використовували при проведенні промислових випробуваннях україніту-ПП-1 на кар'єрі Інгулецького ГЗКа. В подальшому пристрій було модернізовано.

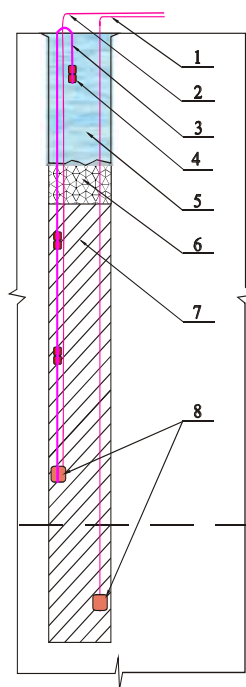


Рис. 3. Пристрій для ініціювання свердловинного заряду

значно зменшує висоту підйому хмари вибуху та кількість пилогазових викидів в атмосферу.

Це досягається розміщенням в свердловині (Рис.3) проміжних детонаторів основної (1) і дублюючої (2) мережі системи типу NONEL з капсулями-детонаторами однакового ступеню уповільнення, які приєднані до тротилових шашок (8) разом з гірляндою тротилових шашок (4) на детонуючому шнурі (3). Проміжний детонатор (8) дублюючої мережі (2) приєднується до нижнього кінця гірлянди (3) і опускається в свердловину на глибину 1,5 м

вище рівня підшови уступу. Верхній кінець ДШ (3), на якому закріплена тротилова шашка (4), розміщується в гідронабійці. Проміжний детонатор (8) основної мережі (1) опускається на глибину 1,5 м вище рівня вибою свердловини. Конструкція набійки змінена за висотою і складається з інертної набійки (6) в нижній і гідронабійки (5) в верхній частинах.

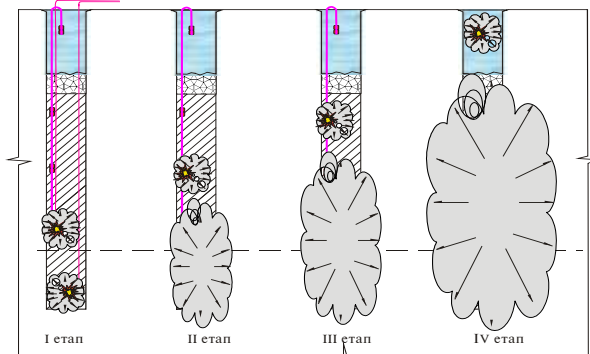


Рис. 4. Схема поетапного розвитку вибуху в свердловині

В результаті теоретичних розрахунків і полігонних випробувань розроблена нова екологічно чиста ЕВР україніт-ПП-1, яка пройшла всі етапи випробувань і допущена до постійного застосування на кар'єрах України для подрібнення порід будь-якої міцності та обводненості.

Вдосконалена технологія підривання свердловинних зарядів із малочутливих вибухових речовин, яка дозволяє зменшити пилогазові викиди в навколишнє середовище і покращити якість подрібнення порід.

Подальші дослідження будуть проводитися з розробки і впровадження технології виготовлення і застосування важких AN-FO на основі матриці (емульсійної композиції) ЕВР україніт-ПП-1.

Література

- 1 А.П.Стрилець "Схемы комплексной механизации взрывных работ при переходе горнодобывающих предприятий на экологически чистые эмульсионные взрывчатые вещества типа украинит-ПМ" Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету: Наукові праці КДПУ. – Кременчук: КДПУ, 2002. – Вип.2(13). С. 33-37.
- 2 М.І.Іщенко, Р.С.Крисін, В.П.Купрін, В.О.Півень, О.П.Стрилець "Пристрій для ініціювання свердловинного заряду" Деклараційний патент на винахід № 57686 А від 16.06.2003 р.
- 3 Д.Г.Гопанюк, В.Ю.Швец, А.П.Стрилець "Перспективы использования отечественных эмульсионных взрывчатых веществ для отбойки крепких скальных пород на открытых горных разработках" Сборник научных трудов НГА Украины №12, Том 2 – Днепропетровск: РИК НГА Украины, 2001. – 249 с.
- 4 Дубнов Л.В., Бахаревиц Н.С., Романов А.И. Промышленные взрывчатые вещества. М.: «Недра», 1973. 320 с.
- 5 Б.Н.Кутузов Взрывные работы: Учебник для техникумов. 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1988. – 383 с.: ил.