

ФІЗИЧНІ АСПЕКТИ УПРАВЛІННЯ ВИБУХОВИМ НАВАНТАЖЕННЯМ МАСИВУ, ЩО РУЙНУЄТЬСЯ

Віталій Долударев

кандидат технічних наук, доцент

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, вул. Першотравнева, 20, Кременчук, Полтавська область, Україна, 39600, dvn69k@gmail.com;

ORCID: 0000-0002-5619-5017

Вячеслав Єлістратов

кандидат технічних наук, доцент

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, вул. Першотравнева, 20, Кременчук, Полтавська область, Україна, 39600, yelis@rambler.ru;

ORCID: 0000-0001-7931-7761

Ірина Солошич

доктор педагогічних наук, професор

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, вул. Першотравнева, 20, Кременчук, Полтавська область, Україна, 39600, soloishych@gmail.com;

ORCID: 0000-0002-8842-5120

Яна Долударєва

кандидат технічних наук, доцент

Кременчуцький льотний коледж Харківського національного університету внутрішніх справ, вул. Перемоги, 17/6, Кременчук, Полтавська область, Україна, 39600, doludareva@gmail.com;

ORCID: 0000-0002-4089-2010

Наведено аналіз методів управління вибуховим навантаженням масиву, що руйнується. За рахунок такого управління можливо впливати на ефективність вибухового дроблення твердих середовищ та на вихід переподріблених фракцій при масових вибухах. Порівняння різних складів сумішевих зарядів вибухових речовин показало, що заряд з газоутворюючим енергоактивним компонентом у вибуховій речовині, змінюючи термодинамічні параметри продуктів детонації та умови їх взаємодії з середовищем, що руйнується, дасть змогу зменшити переподрібнення при вибуховій відбійці нерудних гірських порід, що має підвищити ефективність роботи підприємств з видобутку нерудних корисних копалин. Встановлено, що часткова заміна бризантної вибухівки в зарядах вибухових речовин на газоутворюючу добавку знижує пік тиску в зарядній порожнині, а також швидкість зростання тиску продуктів детонації, що призводить до зменшення переподрібнення твердого середовища в ближній до заряду зоні. При подальшому горінні газоутворюючий компонент виділяє енергію, яка підсилює навантаження масиву в середній та дальній зонах, що призводить до більш рівномірного її дроблення.

Зменшення виходу переподріблених та негабаритних фракцій значно підвищує ефективність роботи підприємств з видобутку нерудних корисних копалин. Це не стосується гірничодобувних підприємств з видобутку рудних корисних копалин, тому що в цьому випадку переподріблення гірської маси є бажаним фактором, який спонує переробку сировини на подальших етапах технологічного процесу.

Зменшення бризантності сумішевих зарядів за рахунок газоутворюючих компонентів значно зменшує сейсмічний вплив масового вибуху на навколишнє середовище. Нажаль вказаним аспектам взаємодії складових частин сумішевих зарядів між собою та з навколишнім середовищем до теперішнього часу приділялося недостатньо уваги.

Ключові слова: видобування, переподрібнення, компоненти вибухівки.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. Вибухове дроблення скельних корисних копалин є одним з основних способів їх видобутку на відкритих розробках. Для підвищення ефективності роботи гірничодобувних підприємств необхідно вико-

ристовувати раціональні методи ведення вибухових робіт, які покращують характеристики гранулометричного складу зруйнованої гірської маси.

Переподрібнення породи вибухом є позитивним фактором при видобутку залізородних

копалин, тому що спрощує роботу обладнання на наступних етапах технологічного процесу. Разом з тим, при видобутку будівельної сировини та блочного каміння переподібнення є небажаним, оскільки веде до втрат корисних копалин.

Зменшення виходу переподібнених фракцій при вибухах в твердих середовищах можна домогтися створенням в зарядах вибухових речовин повітряних проміжків, формуванням навколо заряду оболонки з інертних речовин (повітря, пісок, гранвідсів, тощо), що дозволяє знизити пік тиску в зарядній порожнині на початковій стадії вибуху та зменшити бризантну дію заряду на середовище, що руйнується. Але треба враховувати, що при цьому деяка частина енергії вибухової речовини витрачається на нагрів інертної добавки.

Уникнути вказаного недоліку можна додаючи в заряд вибухових речовин недетонуючий газоутворюючий енергоактивний компонент з відходів твердих ракетних палив, недетонуючого порошу й ін. Використовуючи частину енергії на початковій стадії вибуху для свого займання, знижуючи максимальний тиск продуктів детонації, газоутворююча добавка в процесі горіння на наступних стадіях вибуху виділяє енергію, яка сприяє посиленню дроблення середовища. Це повинно призвести до одночасного зменшення виходу як переподібнених, так і негабаритних фракцій, що доцільно для підвищення ефективності роботи підприємств з видобутку нерудних корисних копалин. Тому розробка способів управління переподібненням гірських порід при використанні зарядів з газоутворюючими добавками є актуальним науково-технічним завданням для гірничодобувної промисловості.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ.

Дію вибуху умовно прийнято розділяти на дві стадії: початкову ударну дію, що характеризується різким стрибком тиску в зарядній порожнині, та подальше, більш тривале, квазістатичне навантаження газоподібними продуктами детонації, що розширюються.

Розглядаючи загальний енергетичний баланс даного процесу, необхідно відзначити, що найбільші дисипативні втрати енергії спостерігаються на початковій стадії розвитку порожнини, коли тиск в ній максимальний [1]. Зниження піку тиску на початку розширення порожнини дає деяке підвищення ефективності вибуху. Подальше посилення квазістатичного тиску створює позитивний додатковий ефект, що доведено дослідженнями багатьох авторів [2].

На даний час розроблені способи управління квазістатичною дією продуктів детонації. Одним з давно відомих методів є створення в заряді вибухових речовин повітряних проміжків [1; 3], які дозволяють знизити пік тиску в зарядній порожнині та збільшити тривалість впливу на її стінки. Недоліки цього способу: нетехнологічність формування в заряді повітряних проміжків (особливо в обводнених свердловинах) і можливість загасання детонації під час вибуху.

Іншим способом досягнення поставленої мети є використання комбінованих зарядів з бризантних і металних вибухових речовин. Таким шляхом домагаються зниження їх бризантності при деякому підвищенні роботоспроможності. Управління квазістатичною дією продуктів детонації можливо також за допомогою введення в заряд вибухових речовин добавки негорючого газоутворюючого компоненту (наприклад, вуглекислого амонію).

Одним з найбільш ефективних і мало вивчених способів управління поршневою дією продуктів детонації є застосування сумішевих зарядів вибухових речовин, до складу яких входять горючі газоутворюючі добавки (недетонуючі порохи, відходи твердих ракетних палив і т. п.) [4].

Сучасний асортимент вибухових речовин, які застосовуються при розробці корисних копалин, містить наступні основні групи вибухових речовин:

- тротилмісткі гранульовані склади (тротил і його суміші з аміачною селітрою або порошком алюмінію) – гранулотол, алюмотол і грамоніти;
- суміші з гранульованої аміачної селітри з невибуховими горючими добавками – ігданіт (аміачна селітра та дизельне паливо), або – AN-FO (нітрат амонію та паливне масло в англійській транскрипції) [5];
- водомісткі сумішеві вибухові речовини. В них використовується високо концентрований водний розчин окислювача (аміачна, кальцієва або натрієва селітра) в якості основної фази водомісткого складу, в який дисперговані як твердий окислювач, так і сенсibilізуючі горючі добавки (тверді вибухові речовини, наприклад: тротил або невибухові речовини у виді вуглеводнів, вуглецевих і целюлозних матеріалів, горючі висококалорійні метали, наприклад, алюміній, кремній). Структурують ці вибухові речовини шляхом введення загущуючих добавок і поперечних зшивок. Залежно від приготування та складу водомісткі вибухові речовини діляться на суспензійні, гелевидні та емульсійні (прямі – тип «масло у воді» й зворотні – тип «вода в маслі») [6–10].

Тротилгранульовані склади характеризуються високими детонаційними параметрами та теплою вибуху. Крім того, багато з них ефективні в обводнених гірських масивах. При цьому не тільки зберігається детонаційна здатність вибухових речовин, але з-за підвищення щільності суміші за рахунок заповнення водою міжгранульного простору зростає об'ємна концентрація енергії, збільшується швидкість детонації, тиск продуктів вибуху, що призводить до збільшення інтенсивності дроблення гірських порід.

В останні роки все ширше застосовують найпростіші суміші з гранульованої аміачної селітри з різними горючими добавками [11]. Частка споживання їх досягає 50–60 % загальної кількості застосовуваних промислових вибухових речовин, а в США 85–95 % [5]. Детонаційні характеристики найпростіших гранульованих сумішей нижче, ніж у тротилу. Однак в певних умовах вони більш ефективні. Це відноситься до дроблення порід малої та середньої міцності. При цьому знижується вихід переподрібнених фракцій і підвищується кондиційних, тобто дроблення стає більш рівномірним. До недоліків відноситься водонестійкість. При вмісті води більше 5 % втрачається детонаційна здатність цих сумішей. Крім того, суміші АС-ДП мають недостатню фізичну стабільність, детонаційний тиск недостатній для руйнування міцних і особливо міцних порід.

Роботи з удосконалення аміачно-селітряних гранульованих вибухових сумішей проводилися й проводяться в Україні та за кордоном. Так збільшення діаметра вибухових свердловин дозволило підвищити детонаційну здатність сумішей АС-ДП за рахунок більш повного хімічного перетворення крупнодисперсних компонентів і, як наслідок, – підвищення коефіцієнта корисної дії вибуху. Ще одним поштовхом до широкого застосування сумішей АС-ДП в гірничодобувній промисловості та будівництві є розробка технології виготовлення пористої аміачної селітри, яка надійно утримує у собі рідкі нафтопродукти та дозволяє створювати суміші високої якості й стабільності [6].

Одним із способів підвищення стабільності сумішей АС-ДП, при цьому підвищення ефективності вибухової відбійки, є введення до складу вибухових речовин добавок з великою питомою поверхнею. Застосовується аморфний кремнезем, що отримується шляхом кислотної переробки нефелімісткої сировини. Питома поверхня цієї добавки 100 м²/г. Зміст цієї добавки в кількості, що дорівнює 1 %, підвищує в'язкість

дизельного палива та повністю запобігає його стіканню. Склад грануліта АК: гранульована аміачна селітра (94,0±2,0 %), рідкі нафтопродукти (5,0±1,0 %) і аморфний кремнезем (1,0±0,1 %). Ця вибухова речовина аналогічна за дією грамоніту 79/21, але значно дешевша.

За необхідності навантаження масиву більш тривалий час в щадному режимі, щоб зберегти міцність сировини та уникнути переподрібнення, але в той же час отримати необхідне дроблення, застосовуються заряди наднизкощільних сумішей аміачної селітри та пінополістиролу. Дія цих зарядів характеризується одночасним зниженням до гранично низьких значень об'ємної концентрації енергії вибуху, швидкості детонації, тиску, кінетичної енергії продуктів детонації, концентрації газів на одиницю об'єму заряду, що забезпечує квазістатичне навантаження масиву й високий щадний ефект. У той же час детонація цих вибухових речовин носить досить виражений пульсуючий характер і супроводжується в зоні хімічної реакції створенням високотемпературних плазмових струменів, що сприяє більш тривалій підтримці процесу вибухового перетворення; форма вибухового імпульсу стає більш пологою та тривалою, і, отже, підвищується ефективність вибухового руйнування.

Роботи зі створення найпростіших аміачно-селітряних вибухових речовин – ігданітів проводилися Г. П. Демидюком [5]. Застосування ігданіту на гранітних кар'єрах Кременчука дозволило зменшити кількість переподрібнених і негабаритних фракцій і на 20–30 % підвищити міцність шматків відбитої гірничої маси на стиск, а також знизити вартість вибухових робіт порівняно з застосуванням за таких же умов грамоніту.

До складу компонентів ігданіту для загущення дизельного палива застосовуються різні поверхнево-активні речовини або механічні невибухові добавки (мастила, відходи виробництва хімічної, металургійної та будівельної промисловості [6]).

З метою підвищення теплоти вибуху до складу промислових вибухових речовин на основі аміачної селітри вводяться високоенергетичні горючі добавки, в якості яких застосовувався дрібнодисперсний алюміній – АС-4, АС-6, АС-8. Однак, як відомо, дорогий і небезпечний алюміній у складі промислових вибухових речовин замінювали економічно доступними горючими компонентами – феросиліцієм, силікокальцієм, що забезпечують об'ємну концентрацію енергії в нових складах промислових вибухових речовин на рівні не нижче алюмініїстких вибухових речовин,

але є більш безпечними. Вони мають гарну сипучість, при перемішуванні відсутнє запилювання, не злежуються та не розсіюються в процесі зберігання [13].

До зміни детонаційних характеристик промислових вибухових речовин, а, отже, й до зміни параметрів вибухового імпульсу, а значить, і дроблення середовища, призводить застосування в якості добавок залізородного концентрату, доломітизованого борошна й т. п. [13].

Уведення до складу вибухівки подрібненого вугілля, гуми й т. п. призводить до підвищення об'ємної концентрації енергії та до стабілізації вибухових властивостей найпростіших вибухових речовин, зменшуючи при цьому стікання дизельного палива, забезпечуючи стовідсоткову стабільність складів, що в свою чергу підвищує ефективність вибухових робіт [13].

В Україні розроблений і запатентований найпростіший склад – грануліт НМ, що готується шляхом змішування гранульованої непористої аміачної селітри (82 %) і промпродукту – НМ або ПП-НМ (18 %). Промпродукт складається з натиру металу (вторинна прокатна окалина, що є відходом трубного виробництва), подрібненого лушпиння соняшника та відпрацьованих індустриальних мастил [6]. Грануліт НМ призначений для підривання необводнених порід середньої міцності та міцних у будь-яких кліматичних зонах. Так як при його виготовленні використовуються відходи виробництва, він має низьку вартість і сприяє оздоровленню екологічного середовища [14].

До третьої основної групи промислових вибухових речовин відносяться водомісткі сумішеві вибухові речовини. Вода, як наповнювач промислових вибухових речовин (внаслідок розчинення в ній аміачної селітри та заповнення між частинками вибухової речовини її насиченого розчину), сприяє при вмісті води 5–15 % підвищенню середньої щільності водомістких вибухових речовин до 1,5–1,6 г/см³ з початкової (насіпної) щільності 0,8–0,9 г/см³. Крім того, вода знижує чутливість складу, надає йому пластичність або плинність, з'являється вологість механізованого перекачування низьков'язких водомістких вибухових речовин по трубопроводах і шлангах за допомогою насосів.

Недолік води, як наповнювача, – її відносна хімічна інертність. Значна частина тепла, що виділяється під час вибуху, витрачається на нагрівання та випаровування води, а зворотної конденсації не відбувається, тому що температура

продуктів вибуху вище 100 °С. Частина втрат відшкодовується збільшенням газів за рахунок водяної пари. Все ж робота вибуху водомістких амонітів з нульовим кисневим балансом на одиницю їх маси нижче, ніж тих же вибухових речовин в сухому стані.

В енергетичному відношенні сприятливо введення до складу вибухових речовин алюмінію, проте при цьому знижується детонаційна здатність суміші. Сенсibiliзувати склади подібного типу можна газовими бульбашками та застосуванням високодисперсної алюмінієвої пудри. Бульбашки повітря до маси вибухової речовини можна ввести механічним шляхом за інтенсивного перемішування (аерації) водного розчину аміачної селітри з алюмінієвою пудрою. Інший спосіб – це введення газоутворюючої добавки – речовини, здатної взаємодіяти з будь-яким з компонентів вибухової речовини з утворенням газоподібних продуктів вибуху. При адиабатичному стисненні газових бульбашок у детонаційній хвилі, вони сильно розігріваються й стають «гарячими точками», що підтримують поширення детонації по зарядам.

Найбільш поширеним сенсibiliзатором в складі водомістких вибухових речовин є тротил, а також бездимний порох, тверде ракетне паливо й ін.

Гелеутворюючими агентами є синтетичні або природні полімери, солі карбоксиметилцелюлоза, поліакриламід та ін., що набухають у воді. Вони сприяють запобіганню або уповільненню вимивання селітри та інших водорозчинних солей з вибухових речовин при заряджанні обводнених свердловин, надають вибуховим речовинам пластичність.

До складу водомістких вибухових речовин, крім аміачної селітри, як окислювач можуть входити нітрати лужних і лужноземельних металів, які підвищують їх щільність.

Концентрація енергії в зарядах водомістких вибухових речовин в 1,8–2,0 рази вище, ніж патронування вибухових речовин і вони можуть застосовуватися для підривання вельми міцних порід. Основні недоліки: складний рецептурний склад і технологія виготовлення, менша фізична стабільність більша їх вартість порівняно з гранульованими вибуховими речовинами (в 5–3 разів вище, ніж АС-ДП), низька чутливість до ініціювання імпульсу.

Різновидом водомістких сумішей є вибухові емульсії, які широко застосовуються в США, Франції, Великобританії, Китаї та інших країнах.

Емульсії значно дешевше традиційних водомістких сумішей, мають високу детонаційну та енергетичну здатності, підвищену безпеку виробництва та застосування, водостійкість. Саме завдяки широкому використанню емульсійних складів в останнє десятиліття за кордоном досягли значних техніко-економічних показників вибухових робіт. У Росії подібного класу вибухові речовини – пореміти.

Досвід застосування емульсійних поремітів на кар'єрах Лебединського та Стойленського гірничо-збагачувальних комбінатів показав, що звичайний пореміт придатний для вибухового дроблення тріщинуватих порід з коефіцієнтом міцності за М. М. Протодьяконовим $f = 12$, а з добавками 4 і 8 % алюмінієвого порошку – для порід будь-якої міцності. При дослідних вибухах з великою питомою витратою пореміта розмір середнього шматка підірваної гірничої маси виявився в 1,5–2,0 рази більше, ніж при підриванні штатними гранульованими вибуховими речовинами. Це, ймовірно, пояснюється недостатнім ступенем перемішування компонентів, в результаті чого детонувала тільки частина газоутворюючої добавки заряду.

Останнім часом у виробництві та застосуванні емульсійних вибухових речовин намітилися позитивні тенденції [5], що пов'язано з розробкою нового покоління емульсійних вибухових речовин – безтарних поремітів, що виготовляються поблизу або безпосередньо на гірничих підприємствах. При цьому освоєно виробництво вітчизняних емульгаторів ПТ і СМТ, процес отримання яких можна прив'язати до установки з виготовлення поремітів.

Розробка принципово нової структури промислових вибухових речовин у виді зворотної емульсії «вода в мастилі» вирішила проблему виключення розчинення аміачно-селітерних промислових вибухових речовин в обводнених свердловинах будь якої проточності, де застосовується дорогий гранулол. Ефект досягається за рахунок високої щільності заряджання поремітів 1,25–1,3 г/см³, а вартість їх в 2 рази нижче гранулололу. Сировина для отримання емульсійних вибухових речовин порівняно дешевша й доступна, сенсibiлізація їх здійснюється газовими бульбашками при заряджанні в свердловину.

Численні дослідження вітчизняних і зарубіжних авторів спрямовані на створення вибухових речовин і зарядів вибухових речовин, що забезпечують регульоване виділення енергії залежно від необхідних завдань по руйнуванню гірських

порід з різними властивостями та будовою [12]. Регулювання виділеної енергії вибуху в навколишнє середовище здійснюється введенням до складу вибухових речовин різних добавок, що змінюють їх щільність від 0,6 до 1,4 г/см³, що призводить до зміни швидкості детонації. Для руйнування міцних порід використовуються суспензійні та емульсійні вибухові речовини, що виготовляються на місцях застосування, до складу яких вводяться з рівномірним перемішуванням сенсibiлізатори, які підвищують швидкість детонації до 5500 м/с, щільністю до 1,4 кг/дм³ і високою концентрацією енергії.

Для регулювання чутливості та швидкості детонації до складу емульсійних вибухових речовин вводять суміш скляних і пластмасових мікросфер. Щільність вибухової речовини при цьому може змінюватися від 0,6 до 1,25 кг/дм³. Діаметр скляних сфер 30–150 мкм, пластмасових 200–1200 мкм. Найбільшого ефекту досягли при розмірах скляних сфер діаметром 40–80 мкм, пластмасових 400–1000 мкм, швидкість детонації при цьому змінювалася в діапазоні 6070–6405 м/с. Порожнисті мікросфери рекомендується додавати в емульсійні вибухові речовини та в суміші емульсійних і найпростіших вибухових речовин типу АС-ДП. Використання водомістких і емульсійних вибухових речовин при підриванні міцних порід досить ефективне, а застосування утилізованих компонентів в якості сенсibiлізаторів істотно знижує витрати на підготовку вибуху.

Для забезпечення регулювання виділення енергії вибуховими речовинами намагаються використовувати в якості добавок відходи виробництва, що значно здешевлює ведення вибухових робіт, підвищує їх ефективність і приводить до позитивних екологічних результатів. Прикладом є створення емульсійної вибухової речовини «Україніт», в яку введена в якості аеруючого агенту легка кварцова фракція з відходів теплових електростанцій.

Новим напрямком розвитку вибухових речовин є введення до відомих вибухівок найпростішого складу нових продуктів, отриманих у результаті утилізації конверсійних боєприпасів. Це дозволяє отримати більш потужні вибухові речовини при одночасному зниженні їх вартості. Компонентами нових вибухових речовин можуть бути зняті з озброєння пороху, якими споряджені міни, снаряди, торпеди, авіабомби, тверді та рідкі ракетні палива й т. д. [15; 16].

Використання конверсійних вибухових речовин дозволяє забезпечити поставку гірничим

підприємствам вибухових матеріалів вартістю в 1,5–2,5 рази нижче, ніж вартість штатних промислових вибухових матеріалів.

Проведені термодинамічні розрахунки емульсійних вибухових систем, що містять енергоємні добавки у виді порохів різних марок, показали, що в системах, одним з компонентів яких є порох, швидкість детонації становить вище 7000 м/с і максимальний тиск детонації складає приблизно 18 ГПа. Застосування конверсійного компоненту динітроаміда амонію ще ефективніше, бризантність підвищується на 60 % [15].

При використанні конверсійних компонентів в промислових вибухових речовинах до кінця не вирішеними є завдання їх подрібнення, визначення кількості в складі суміші, зниження підвищеної чутливості до механічних і теплових впливів, оптимізація балансу складу за змістом пального та окислювача (негативний кисневий баланс), що призводить до утворення при вибуху токсичних продуктів вибухового перетворення (окис вуглецю, окис азоту та ін.) і не забезпечує максимальну роботоспроможність вибухових речовин.

Частково ці завдання вирішуються введенням до складу АС-ДП піроксилінового або баліститного пороху з розміром частинок 0,01–2,95 мм або їх суміші та води [16]. Стабілізація вибухових речовин досягається застосуванням подрібненого піроксилінового або баліститного пороху з частинками певних розмірів, які забезпечують високу утримуючу здатність по відношенню до рідких нафтопродуктів (до 40–45 %). У той же час теплота вибуху збільшується на 15 %, а критичний діаметр детонації знижується зі 120–130 мм до 80–90 мм. Введені рідкі нафтопродукти в якості пального одночасно забезпечують флегматизацію пороху та дозволяють зберегти чутливість до удару на рівні ігданітів. Щільність вибухових речовин збільшується на 15–20 %, а швидкість детонації – на 20 %.

ВИСНОВКИ. Заряд з газоутворюючим енергоефективним компонентом у вибуховій речовині, змінюючи термодинамічні параметри продуктів детонації та умови їх взаємодії з середовищем, що руйнується, дасть змогу зменшити переподрібнення при вибуховій відбійці нерудних гірських порід, що підвищить ефективність роботи підприємств з видобутку нерудних корисних копалин.

Встановлено, що часткова заміна бризантної вибухівки в зарядах вибухових речовин на газоутворюючу добавку знижує пік тиску в зарядній

порожнині, а також швидкість зростання тиску продуктів детонації, що призводить до зменшення переподрібнення твердого середовища в ближній до заряду зоні гірської маси. При подальшому горінні газоутворюючий компонент виділяє енергію, яка підсилює дроблення масиву в середній та дальній зонах гірської маси, що призводить до більш рівномірного її дроблення.

Зменшення бризантності сумішевих зарядів за рахунок газоутворюючих компонентів значно зменшує сейсмічний вплив масового вибуху на навколишнє середовище.

ЛІТЕРАТУРА

1. Ромашов А. Н. Особенности действия крупных подземных взрывов. М. : Недра, 1981. 243 с.
2. Повышение эффективности действия взрыва в твердой среде / Комир В. М., Кузнецов В. М., Воробьев В. В. и др. М. : Недра, 1988. 209 с.
3. Жунусов К., Жунусов А. К. Влияние продолжительности импульсных нагрузок взрыва заряда ВВ на качество разрушения взрывающей среды / Горный журнал Казахстана. 2010. № 3. С. 20–25.
4. Кирьяков Г. Е., Елифанов В. Б., Зиборов А. Б., Вологин М. Ф. Утилизация баллистических ракетных твердых топлив переработкой во взрывчатые материалы промышленного назначения / Горный журнал. 2006. № 5. С. 43–44.
5. Кук М. А. Наука о промышленных взрывчатых веществах. М. : Недра, 1980. 453 с.
6. Демидюк Г. П. О механизме действия взрыва и свойствах взрывчатых веществ / Взрывное дело. 1960. № 45/2. С. 20–35.
7. Петренко В. Д., Ефремов Э. И., Кратковский И. Л. Характер разрушения полиминеральных пород при действии взрывных и ударных нагрузок / Геотехническая механика. – Днепропетровск : ИГТМ НАНУ, 2010. № 85. С. 39–45.
8. Комир В. М., Назаренко В. Г. О роли газообразных продуктов детонации в процессе разрушения твердой среды при взрыве / Взрывное дело. 1978. № 80/37. С. 77–80.
9. Петренко В. Д., Донченко П. А., Коновал С. В. Исследование направленного раскола горных пород взрывом / Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва. Кременчук : КрНУ, 2011 (7). № 1. С. 51–55.
10. Кратковский И. Л. О надежности способов инициирования взрывчатых веществ простейшего состава при отбойке горных пород на карьерах / Сучасні ресурсозберігаючі технології гірничого виробництва. Кременчук : КДПУ, 2009. № 2 (4). С. 29–35.
11. Викторов С. Д., Кутузов Б. Н., Закалинский В. М. Взрывчатые вещества без взрывчатых компонентов – основа прогресса в горном деле / Горный журнал. 2008. № 12. С. 4–50.

12. Кратковский И. Л. Прогнозная оценка месторождений интрузивных пород, перспективных для добычи блочного камня / *Наукowy вісник Національного гірничого університету*. Дніпропетровськ : НГУ, 2010. № 5. С. 18–23.

13. Слащев И. Н., Макеев С. Ю., Слащева Е. А. Методология оценки комплекса параметров состояния массива пород для обеспечения требований безопасности систем поддержания горных выработок / *Геотехнічна механіка*. – Дніпропетровськ : ІГТМ НАНУ, 2018. № 143. С. 127–142.

14. Шматовский Л. Д., Тынына С. В., Анянueva О. И. Влияние естественных напряжений пород

забоя выработки на силовые параметры процесса их разрушения / *Геотехнічна механіка*. – Дніпропетровськ : ІГТМ НАНУ, 2019. № 144. С. 178–189.

15. Комир В. М., Воробьев В. В., Нападайло В. И. Влияние добавки газообразующего вещества в ВВ на эффективность разрушения горных пород / *Взрывное дело*. 1990. № 90/47. С. 230–233.

16. Ефремов Э. И., Петренко В. Д., Коновал В. Н. Об использовании конверсионных материалов при взрывании комбинированных зарядов на гранитных карьерах / *Проблемы производства промышленных взрывчатых веществ на современном этапе и утилизация боеприпасов*. Павлоград, 1997.

PHYSICAL ASPECTS OF EXPLOSIVE LOAD CONTROL OF A DESTROYING MASS

Vitalii Doludariiev

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, 20 Pershotravneva str., Kremenchuk, Poltava region, Ukraine, 39600, dvn69k@gmail.com;

ORCID: 0000-0002-5619-5017

Viacheslav Yelistratov

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, 20 Pershotravneva str., Kremenchuk, Poltava region, Ukraine, 39600, yelis@rambler.ru;

ORCID: 0000-0001-7931-7761

Iryna Soloshych

Doctor of Pedagogical Sciences, Professor

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, 20 Pershotravneva str., Kremenchuk, Poltava region, Ukraine, 39600, soloishych@gmail.com;

ORCID: 0000-0002-8842-5120

Yana Doludarieva

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Kremenchug Flight College of Kharkiv National University of Internal Affairs, 17/6 Peremohy str., Kremenchuk, Poltava Region, Ukraine, 39600, doludareva@gmail.com;

ORCID: 0000-0002-4089-2010

The analysis of methods for controlling the explosive load of a crumbling rock mass is presented. Due to such control, it is possible to influence the efficiency of explosive crushing of solid media and the yield of over-crushed fractions during mass explosions. Comparison of various compositions of mixed charges of explosives showed that a charge with a gas-forming energy-efficient component in an explosive, by changing the thermodynamic parameters of detonation products and the conditions of their interaction with a disintegrating medium, will reduce overgrinding during explosive blasting of nonmetallic rocks, which should increase the efficiency of enterprises for the extraction of nonmetallic minerals. It has been established that partial replacement of blasting explosives in explosive charges with gas-forming additives reduces the pressure peak in the charge cavity, as well as the rate of increase in the pressure of the detonation products, which leads to a decrease in the overgrinding of the solid medium in the zone of the rock mass close to the charge. With further combustion of the gas-forming component, energy is released, which enhances the crushing of the massif in the middle and distant zones of the rock mass, which leads to its more uniform crushing.

A decrease in the output of over-crushed and oversized fractions will significantly increase the efficiency of the work of enterprises for the extraction of non-metallic minerals. This does not apply to mining enterprises for the extraction of ore minerals, since in this case overgrinding of the rock mass is a desirable factor that simplifies the processing of raw materials at subsequent stages of the technological process.

It can also be noted that a decrease in the brisance of mixed charges due to gas-forming components significantly reduces the seismic effect of a massive explosion on the environment. Unfortunately, until now, insufficient attention has been paid to these aspects of the interaction of the components of mixed charges between themselves and the environment.

Key words: mining, over-grinding, explosive, gas-forming component.

REFERENCES

1. Romashov, A. N. (1981) "Features of the action of large underground explosions", *Nedra*, Moscow, 243 p.
2. Komir, V. M., Kuznetsov, V. M., Vorobiev, V. V. and Chebenko, V. N. (1988) "Increasing the effectiveness of the explosion in a solid medium", *Nedra*, Moscow, 209 p.
3. Zhunusov, K. and Zhunusov, A. K. (2010) "Influence of the duration of the pulsed charges of the explosive charge explosion on the quality of destruction of the exploded medium", *Gornyi Zhurnal*, Kazakhstan, no. 3. Pp. 20–25.
4. Kiryakov, G. E., Elifanov, V. B., Ziborov, A. B. and Vologin, M. F. (2006) "Utilization of ballistic rocket solid fuels by processing into industrial explosives", *Gornyi Zhurnal*, no. 5. Pp. 43–44.
5. Cook, M. A. (1980) "The science of industrial explosives", *Nedra*, Moscow, 453 p.
6. Demidyuk, G. P. (1960) "On the mechanism of action of the explosion and the properties of explosives", *Explosive business*, no. 45/2, pp. 20–35.
7. Petrenko, V. D., Efremov, E. I. and Kratkovsky, I. L. (2010) "The nature of the destruction of polymineral rocks under the action of explosive and shock loads", *Geotechnical mechanics*, Dnipropetrovsk, no. 85, pp. 39–45.
8. Komir, V. M. and Nazarenko, V. G. (1978) "On the role of gaseous detonation products in the process of destruction of a solid medium during an explosion", *Explosive business*, no. 80/37, pp. 77–80.
9. Petrenko, V. D., Donchenko, P. A. and Konoval, S. V. (2011) "Investigation of the directional splitting of rocks by an explosion", *KrNU*, Kremenchuk, no. 1, pp. 51–55.
10. Kratkovsky, I. L. (2009) "On the reliability of methods for initiating explosives of the simplest composition when breaking rocks in open pits", *Current resource-saving technology of mine-cutting*, Kremenchuk. no. 2 (4), pp. 29–35.
11. Viktorov, S. D., Kutuzov, B. N. and Zakalinsky, V. M. (2008) "Explosives without explosive components – the basis of progress in mining", *Mining magazine*, no. 12, pp. 4–50.
12. Kratkovsky, I. L. (2010) "Predictive assessment of deposits of intrusive rocks, promising for the extraction of block stone", *Naukoviy visnik of the National Girnichy Universitetu*, Dnipropetrovsk, no. 5, pp. 18–23.
13. Slashchev, I. N., Makeev, S. Yu. and Slashcheva, E. A. (2018) "Methodology for assessing the complex of parameters of the state of the rock mass to ensure the safety requirements of the systems for maintaining mine workings", *Geotechnical mechanics*, Dnipropetrovsk, no. 143, pp. 127–142.
14. Shmatovsky, L. D., Tynyna, S. V. and Ananyeva, O. I. (2019) "The influence of natural stresses of the bottomhole rocks on the force parameters of the process of their destruction", *Geotechnical mechanics*, Dnipropetrovsk, no. 144, pp. 178–189.
15. Komir, V. M., Vorobiev, V. V. and Napadailo, V. I. (1990) "Influence of the addition of a gas-forming substance in explosives on the efficiency of destruction of rocks", *Explosive business*, no. 90/47, pp. 230–233.
16. Efremov, E. I., Petrenko, V. D. and Konoval, V. N. (1997) "On the use of conversion materials in the blasting of combined charges in granite quarries", *Problems of the production of industrial explosives at the present stage and the disposal of ammunition*. Pavlograd.

Стаття надійшла 02.03.2022