

**В.А. Поплавський, к.т.н.**  
*Нац. НДІ пром. безпеки та охорони праці*  
**В.Г. Кравець, д.т.н., проф.**  
**А.М. Шукюров, аспір.**  
**В.В. Павленко, магістрант**  
*КПІ ім. Ігоря Сікорського*

## ФІЗИЧНІ ТА ТЕХНОЛОГІЧНІ ЧИННИКИ ФОРМУВАННЯ ДЕТОНАЦІЙНОЇ ЗДАТНОСТІ СВЕРДЛОВИННИХ ЗАРЯДІВ ЕМУЛЬСІЙНИХ ВИБУХОВИХ РЕЧОВИН

*Сучасні умови розробки родовищ корисних копалин характеризуються постійним збільшенням глибини кар'єрів і, як наслідок цього, зміною гірничо-геологічних та гірничотехнічних умов. Отримання гірської маси забезпечується застосуванням буропідривного способу як основного процесу, який впливає на техніко-економічні показники наступних процесів та підприємства в цілому. Ефективність вибуху в скельних породах залежить від технології підривних робіт.*

*У науково-технічній літературі вплив різноманітних природних і технологічних чинників на процес вибуху вивчено досить детально. Розроблено методики та рекомендації з розрахунку параметрів масових вибухів, що використовуються у типових проектах на підривні роботи і забезпечують при їх реалізації отримання гірської маси різного гранулометричного складу. Однак дані методики базуються на традиційних формулах та емпіричних залежностях, згідно яких параметри розташування і підривання зарядів приймаються однаковими, незважаючи на те, що блоки, які підриваються, можуть включати різні типи порід, а це, в свою чергу, зумовлює завищений вихід некондиційних фракцій. Тому реалізація проектних параметрів підривних робіт повинна базуватися на сучасних наукових досягненнях, взаємозв'язках гірничо-геологічних та технологічних показників і параметрів із найменшими витратами праці та часу в процесі проектування.*

*В публікації розглянуто вплив фізичного стану та складу емульсійної вибухової речовини, геометричних параметрів і умов підривання заряду, особливостей динамічних процесів в заряді та руйнованому масиві на прояви явища десенсибілізації емульсійних ВР.*

**Ключові слова:** десенсибілізація; швидкість детонації; критичний діаметр; густина; гідростатичний тиск; газогенерація; ударна хвиля; негабарит.

**Вступ.** Сучасні промислові вибухові речовини (ПВР) для відкритих гірничих робіт представлені переважно сипкими та рідкими вибуховими сумішами на основі аміачної селітри (АС). Вони відрізняються за режимами вибухового перетворення, механічним ефектом та безпекою вибуху. Прогнозовані результати вибуху досягаються за умови дотримання режиму вибухового перетворення свердловинного заряду з характерною для даної ВР стаціонарною по всій його довжині детонацією. На жаль, у більшості сучасних малочутливих ВР складно отримати нормальний детонаційний режим; нерідко їх хімічне перетворення відбувається в режимі низькошвидкісної нестаціонарної детонації, подібному до детонації вибухового перетворення або нормального чи конвективного горіння [1]. Для сипких вибухових речовин ці явища завдяки їх фізичній та хімічній стабільності в промислових зарядах менш характерні, проте в рідких ВР типу емульсій, особливо сенсібілізованих газогенерацією, проявляються набагато частіше, суттєво впливаючи на якість і результати масового вибуху. Джерела [2–13] вказують на можливі негативні наслідки взаємодії детонаційних та ударних хвиль в окремому колонковому заряді, фізичних перетворень в тимчасово пасивних зарядах під впливом інтенсивних ударних хвиль, генерованих в часі короткосповільненого підривання.

Мета роботи полягає в оцінці сукупного впливу фізичних та динамічних чинників на механізм розвитку детонаційних процесів та їх наслідки при масових вибухах системи свердловинних зарядів емульсійних вибухових речовин.

**Викладення основного матеріалу.** Аналіз основних фізичних чинників формування детонаційних характеристик ВР свідчить, що режим детонації ВР функціонально пов'язаний майже з усіма термодинамічними параметрами вибуху, які визначають його руйнівну дію на породний масив. Це, зокрема, теплота вибуху, детонаційний тиск і середній тиск у свердловині, масова швидкість продуктів вибуху, їх температура тощо. Для кожної ВР у конкретних умовах підривання паспортна швидкість детонації є постійною величиною. Але вона може змінюватися у широкому діапазоні значень залежно від сукупного впливу діаметра заряду  $d_z$ , густини заряду  $\rho_z$ , якості змішування компонентів сумішевої ВР, зовнішніх умов перебування заряду (температура, вологість, обводнення, характер та інтенсивність тріщинуватості, гідростатичний тиск, породне засмічення,).

Відомо, що при постійності всіх інших умов швидкість детонації  $D$  залежить від діаметра заряду, тобто обмежується мінімальним або критичним значенням стабільної  $D$  при критичному діаметрі заряду  $d_{кр}$ , та ідеальним значенням  $D_1$ , яке досягається при граничному діаметрі детонації  $d_{гр}$ . Діапазон між  $d_{кр}$  і  $d_{гр}$  є вузьким для високочутливих ВР і дуже широким для грубодисперсних вибухових сумішей на основі АС. Критичний діаметр, як характеристика чутливості ВР до ініціюючого імпульсу, фактично є константою для кожного типу ВР, але змінюється навіть при однаковому хімічному складі зі зміною фізичного стану вибухової речовини. Для крупнодисперсної, зволоженої та ущільненої ВР він більший, ніж для тонкодисперсної та сухої ВР за оптимальної густини суміші.

Критичний діаметр детонації відкритого заряду в 2...3 рази більший, ніж заряду у міцній оболонці або в скельній гірській породі. Міцна оболонка заряду підвищує швидкість детонації тільки за умови, що його діаметр менший граничного. Далі за межами  $d_{гр}$  на величину  $D_1$  може впливати теплота вибуху  $Q$  і густина ВР. Для малочутливих ВР ідеальна швидкість детонації не досягається навіть у свердловинах великого діаметра ( $\geq 250$  мм).

Стационарна швидкість детонації встановлюється і зберігається такою після досягнення граничної величини діаметра заряду вже незалежно від його величини. Значно складніша ситуація з впливом на її значення густини ВР. Залежність швидкості детонації від густини сумішевих ВР  $D(\rho)$  має екстремальний характер: починаючи від низьких значень щільності по мірі її зростання швидкість детонації даної ВР також збільшується, а далі, з досягненням певного значення – спадає навіть до цілковитого загасання. Щільність, за якої досягається максимум швидкості детонації, називають критичною ( $\rho_{кр}$ ). Будь-яке відхилення густини ВР в більшу або меншу сторону від значення  $\rho_{кр}$  призводить до падіння швидкості детонації і навіть її загасання. До того ж вона залежить від типу ВР, діаметра й міцності оболонки заряду, дисперсності, вологості, якості приготування ВР тощо.

Технологічний аспект значення цього чинника особливо важливий, якщо оцінювати його вплив на детонаційну здатність ВР у вертикальному свердловинному заряді, оскільки при цьому необхідно брати до уваги реальність зміни густини нисхідного заряду по глибині. Густина ВР у вертикальному свердловинному заряді зростає пропорційно зростанню гідростатичного тиску у ньому з віддаленням від верхнього торця. Особливо сильно ця закономірність проявляється для рідких емульсійних ВР, сенсibiliзованих газогенерацією [4]. Таким чином, навіть при сталому складі рідкої ЕВР через зміну густини по колонці від нормальної у верхньому торці заряду до підвищеної внизу колонки заряду практично неможливо очікувати стабільної його детонації і відповідно ефективного й безпечного використання ЕВР.

Розглядаючи вплив механізму ініціювання промислового свердловинного заряду на розвиток в ньому детонаційного процесу, слід приділити увагу способів ініціювання, потужності, масі, конструкції та розташуванню проміжного детонатора (бойовика) чи системи бойовиків. В наш час застосовують дві системи ініціювання: на основі детонуючого шнура (ДШ) і на основі детонуючого хвилевода з неелектричним детонатором і бойовиком у вигляді тротилової шашки чи патрона амоніту.

Якщо зважити на те, що при конструюванні свердловинного заряду, довжина якого перевищує 10м, застосовується дублювання мережі, значним негативним чинником є утворення вибухом нитки ДШ в набивці та в масі свердловинного заряду газового каналу, який може сприяти частковому вивільненню вибухових газів. Крім того, навколо цього каналу сипка або емульсійна ВР набуває підвищеної щільності, яка, можливо, значно перевищує значення оптимальної.

Застосування на вибухових роботах неелектричних систем ініціювання позбавило технологію від небезпечного бічного (канального) ефекту. Разом з тим для малочутливих ВР виключно важливим з позицій повноцінного та надійного ініціювання свердловинного заряду є добір проміжного детонатора, або бойовика. Основним його параметром є детонаційний тиск, який сильно залежить від швидкості детонації ініціатора. Для досягнення високих значень  $R_d$  використовують, як правило, потужні індивідуальні ВР чи їхні суміші у пресованому чи литому стані. Іншим параметром ініціюючого імпульсу є його тривалість, яка, у свою чергу, зростає при збільшенні маси проміжного детонатора (бойовика)  $m_{пд}$ . Між  $R_d$  і  $m_{пд}$  за мінімально прийнятної маси проміжного детонатора і незмінності інших його параметрів існує тісний нелінійний зв'язок: зі збільшенням маси тиск зменшується з поступово затухаючою інтенсивністю [5]. Кожній конкретній ВР властива своя залежність  $R_d(m_{пд})$ . Оскільки критичний тиск, потрібний для успішного ініціювання ВР, сильно зростає при збільшенні її густини, малоцільні заряди однієї і тієї ж ВР ініціюються легше, ніж високоцільні [1]. Геометрія ПД також впливає на його ініціувальну здатність. Довжина ПД має бути більшою за діаметр не менше ніж у 1,5 рази.

Важливим чинником впливу на ініціювання свердловинного заряду є співвідношення між діаметрами ПД і свердловини. Найкращі умови ініціювання досягаються за рівності чи близькості цих діаметрів. Саме у цьому разі найлегше забезпечується перетиснутий режим ініціювання з найменшою довжиною зони розгону детонаційного процесу, який виходить на стаціонарний режим детонування заряду з високим значенням  $D$ . У разі малих діаметра або маси ПД в лінійному заряді спостерігається в місці розташування бойовика сплеск швидкості детонації, що відповідає значенню  $D_1$  для бойовика, а в подальшому на профілі швидкості виникає провал певної глибини, після якого  $D$  зростає до стаціонарного рівня  $D_2$ , нижчого за  $D_1$ . Якщо процес ініціювання не виходить із провалу, то вибухове

перетворення ВР свердловинного заряду поступово затухає на певній відстані, яка для сучасних малочутливих ВР може складати перші десятки діаметрів заряду. Звідси очевидно, що найкращим є режим ініціювання свердловинного заряду без провалу в зоні розгону детонації, бо саме він забезпечує високий рівень і стабільність детонаційного процесу, отже, надійність вибуху.

Технологічні чинники десенсибілізації газогенованих емульсійних ВР в подовженому заряді пов'язані в першу чергу з рухливістю їх компонентів, відповідно піддатливістю разовим чи тривалим імпульсним навантаженням, а також з особливостями розвитку силових та деформаційних процесів у взаємодіючих свердловинних зарядів. Після спрацювання ініціатора по свердловинному заряду поширюється детонаційний фронт, а від нього в породному середовищі на контакт з зарядом генерується інтенсивне збурення у вигляді ударної хвилі, яка з часом (і з відстанню від заряду) трансформується у хвилю напружень, а потім – у сейсмічну. Хвиля напружень, з якою асоціюється зона дроблення породи, поширюється на десятки діаметрів заряду, тобто вона практично існує в межах відстані між сусідніми зарядами. Швидкість розповсюдження вибухового хвильового збурення є максимальною біля місця вибуху, але відразу зменшується до швидкості подовжньої хвилі  $V_p$ .

Детонаційний фронт рухається свердловинним зарядом зі стаціонарною швидкістю детонації  $D$ , на величину якої впливає склад і щільність ЕВР (відповідно концентрація газового сенсоризатора), діаметр заряду, а також міцність оточуючих порід. Від співвідношення швидкостей  $V_p$  і  $D$  залежить стан ЕВР перед фронтом детонації в ініційованому свердловинному заряді.

Якщо  $D > \eta V_p$  (де  $\eta \geq 1,0$  – коефіцієнт, що характеризує збільшення швидкості вибухової хвилі біля стінки свердловини у породі порівняно з  $V_p$ ), то початкове хвильове збурення у породі на стінках свердловини відстає від фронту детонації і синхронно переміщується за ним у заряді. Отже, в цьому разі ударна хвиля в прилеглому до свердловини масиві не взаємодіє з детонаційною хвилею в заряді, тобто не існує причини вибухової десенсибілізації ЕВР, бо хвильові процеси у породі не встигають за фронтом детонації ділянки свердловинного заряду, що не прореагувала. Тут вибухове перетворення заряду ЕВР відбувається у нормальному режимі детонування. В ударній хвилі на фронті детонації газові пухирці адіабатично інтенсивно стискаються й нагріваються та виконують роль "гарячих точок", які ініціюють і підтримують детонаційний процес у заряді. Інші явища відбуваються у заряді ЕВР перед фронтом детонації у разі, коли  $D < \eta V_p$ . Фронт вибухового збурення у породі біля стінки свердловини випереджає фронт детонації в заряді. Від цього передуючого збурення з породи в ЕВР випромінюється окрема хвиля (чи комплекс хвиль) стискання, яка у заряді має майже конічний профіль і рухається вздовж свердловини, безперервно віддаляючись від детонаційного фронту та постійно підживлюючись від нього. Інтенсивність конічної хвилі залежить від акустичних властивостей породи та ЕВР. Вона слабкіша за детонаційну. Під її впливом навантажуються газові пухирці та матрична емульсія, внаслідок чого густина ЕВР зростає.

Зростання густини сприяє підвищенню швидкості детонації (якщо вона менша за критичну величину), але зменшує чутливість ЕВР до ініціювання, що є негативним чинником. Якщо ж вихідна густина ЕВР становить  $\rho_{кр}$ , то подальше ущільнення емульсійної ВР призведе до падіння швидкості детонації і навіть її загасання.

Зростання тривалості дії конічної хвилі тим більше, чим більше швидкість вибухового збурення у породі на контакт з стінкою свердловини відрізняється від швидкості детонації ЕВР. Це можливо у глибоких свердловинах невеликого діаметра ( $\gg 100$  мм), неякісній чи засміченій інертними домішками ЕВР і лише у міцних монолітних породах з високою  $V_p$  ( $> 5,0$  км/с). За таких умов довжина  $l$  ділянки заряду ЕВР, навантаженої конічною хвилею, визначається виразом

$$l = (\eta V_p - D)t, \text{ де } t - \text{ час від моменту ініціювання проміжного детонатора у заряді.}$$

Якщо  $\eta = 1,2$ ,  $V_p = 5000$  м/с,  $D = 3000$  м/с, то вже через  $1,0$  мс довжина ділянки заряду, завантаженого ударною хвилею, складе  $l = 3,0$  м.

Розглянуті фізичні процеси формування конічної хвилі в окремому подовженому заряді, явища взаємодії її з компонентами ЕВР і фронтом детонації належать до складних і недостатньо досліджених. Ця обставина, зокрема, стосується закономірностей заломлення вибухової хвилі з породи у свердловину з ЕВР, стисливості матричної емульсії й газових пухирців, швидкості теплообміну останніх з емульсією тощо.

Під час групового короткосповільненого підривання, що є типовим для масових вибухів у кар'єрах, причиною десенсибілізації зарядів, що підриваються з заданим мілісекундним інтервалом, можуть стати хвилі напружень, генеровані попередніми вибухами. Поширюючись, вони набігають на сусідні нездетоновані заряди та спричиняють зміну фізичного стану, а отже, і детонаційних властивостей ВР в них.

Прояви цієї дії можуть бути різними залежно, принаймні, від інтенсивності вибухового навантаження, відстані між зарядами, фізико-механічних, структурних і акустичних властивостей породи та породного масиву, характеристик ЕВР й часових інтервалів короткосповільненого вибуху тощо. Стислі дані стосовно цього феномену наведено в публікації [6], в якій ідеться про зниження чутливості свердловинного заряду емульсійної ВР через неправильний вибір інтервалу сповільнення. Автори експериментально встановили, що для зарядів ЕВР з відносною густиною  $\bar{\rho} = 0,85 \dots 0,90$  при відстані між зарядами до  $4,0$  м безпечний час сповільнення не має перевищувати  $67$  мс. Цей висновок потребує більш уважного аналізу з урахуванням наступних міркувань.

Описані вище інтенсивні взаємодії детонаційних та ударних хвиль в процесі вибуху окремого заряду та в часі короткосповільненого підривання системи зарядів відбуваються за надзвичайно короткий час, який вимірюється інтервалом від сотень мікросекунд до однієї-кількох мілісекунд. Тому така рекомендація не вписується в уявлення про вплив безпосередньої взаємодії інтенсивних ударних та детонаційних хвиль на густину і чутливість ЕВР в заряді до ініціюючого імпульсу. На фіксовану ділянку блоку, що ще не підривається, короткосповільнений режим попередніх вибухів генерує довгу низку повторних слабких імпульсів від віддалених груп зарядів. Ці імпульси справляють на ще не здетоновані заряди ЕВР вібраційний вплив, спричиняючи зміну фізичного стану газогенованої емульсії.

Основою емульсійних ВР є матричні емульсії, які являють собою типову структуру сумішевої ВР з паливних і окислювальних компонентів, сенсibilізованої газогенеруючою домішкою в кількості перших відсотків за масою. Для ЕВР, сенсibilізованої газогенерацією, дуже важливим фізичним параметром є її густина. Змінюючи густину за рахунок концентрації газових пухирців, можна регулювати вибухові властивості ЕВР. Густина ЕВР завжди менша від густини емульсії і залежить від концентрації газу в ній. Згідно з експериментальними даними зменшення густини ЕВР обумовлює підвищення її детонаційної здатності, зменшуючи критичний діаметр детонації. Саме тут може знаходитись пояснення непередбачуваних змін детонаційної здатності колонкового заряду. Під дею подовжених в часі відносно слабких імпульсів на заряди в ще не висадженій частині блоку має відбуватись міграція газових пухирців по колонці заряду. Нижня частина заряду втрачає частину газового сенсibilізатора, верхня перенасичується ним. Цей процес перерозподілу компонентів потребує певного часу, який, можливо, для конкретних умов, наведених в [6], має відбуватись довше 67 мс. Навпаки, щоб зберегти вихідні детонаційні характеристики зарядів ЕВР, слід дотримуватись наданих рекомендацій.

**Висновки.** Проведений аналіз поведінки емульсійних вибухових речовин у свердловинних зарядах свідчить про існування значної низки фізичних та технологічних чинників, що визначають зміни їх детонаційних властивостей, що впливають на механічний ефект вибуху.

Розгляд взаємодії фізичних та динамічних чинників на механізм розвитку детонаційних процесів та їх наслідки при масових вибухах системи свердловинних зарядів емульсійних вибухових речовин свідчить, що в першу чергу слід приділяти увагу наступним механізмам, пов'язаним з відхиленням детонаційних процесів від норми:

- взаємному накладанню фронтів детонаційної хвилі в заряді ЕВР та переломлені в заряд ударної хвилі з прилеглою до свердловини масиву, яка на певній відстані від бойовика здатна призвести до переушільнення ЕВР з переродженням та перерванням детонаційного процесу в колонці заряду;

- значно тривалішим явищам вібраційної взаємодії системи слабких сейсмічних імпульсів з структурою газогенованої ЕВР, здатної викликати перерозподіл газового компонента по колонці заряду і негативно вплинути на чутливість ЕВР до ініціюючого імпульсу, що призводить до відмов або неповної детонації свердловинних зарядів з відповідним погіршенням якості подрібнення гірської маси.

Кінцеві висновки про роль та ієрархію розглянутих фізичних та технологічних чинників у десенсibilізації свердловинних зарядів газогенованих ЕВР можливі після детального аналізу наслідків конкретних масових вибухів.

#### Список використаної літератури:

1. Андреев С.Г. Физика взрыва : в 2-х т. Т.1 / С.Г. Андреев, А.В. Бабкин ; под ред. Л.П. Орленко. – 3-е изд., перераб. Ф.А. Баум. – М. : Физматлит, 2002. – 823 с.
2. Соснин В.А. Исследование процесса детонации в эмульсионных промышленных взрывчатых веществах / В.А. Соснин, Е.В. Колганов // Химическая физика. – 2003. – Т. 22. – № 8. – С. 100–107.
3. Критический диаметр и толщина эмульсионного взрывчатого вещества / В.В. Сильвестров, А.В. Пластинин, С.М. Краханов, В.В. Зыков // Физика горения и взрыва. – 2008. – Т. 44. – № 3. – С. 121–127.
4. Поплавський В.А. Проблеми безпеки вибухової справи на кар'єрах / В.А. Поплавський. – К. : ННДІПБОП, 2009. – 160 с.
5. Кук М.А. Наука о промышленных взрывчатых веществах / М.А. Кук ; пер. с англ. – М. : Недра, 1980. – 453 с.
6. Манаков В.Ф. Применение эмульсионного взрывчатого вещества украинит в карьерах Кривбасса / В.Ф. Манаков, А.В. Ивахненко, О.В. Колтунов / Укр. Союз инженеров-взрывников // Информ. Бюл. – 2009. – № 1. – С. 8–12.
7. Коробійчук В.В. Дослідження шляхів мінімізації витрат при буровибуховому способі видобування блоків декоративного каменя / В.В. Коробійчук, Р.В. Соболевський, О.А. Зубченко // Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія : Технічні науки. – Житомир. – 2006. – № 4 (39). – С. 301–308.
8. Дослідження впливу буровибухових робіт на якість блочної продукції кар'єру на основі визначення геометричних характеристик її тріщинуватості / В.В. Коробійчук, Ю.О. Подчаїнський, О.О. Ремезова, Р.В. Соболевський, О.А. Зубченко // Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія : Технічні науки. – Житомир. – 2007. – № 3 (42). – С. 143–150.
9. Exploring the efficiency of applying fractal analysis for the process of decorative stone quality control / R.Sobolevskiy, V.Korobichuk, S.Iskov, I.Pavliuk, A.Kryvoruchko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2016. – Vol. 6/3 (84). – Pp. 32–40.

10. Криворучко А.О. Застосування інформаційно-коп'ютерних технологій для дослідження гірничо-екологічних особливостей родовищ рудних і нерудних корисних копалин / А.О. Криворучко, В.В. Коробійчук, Ю.О. Подчашинський, О.О. Ремезова // Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки. – 2007. – № 1 (40). – С. 186–195.
11. Криворучко А.О. Визначення оптимального напрямку ведення гірничих робіт при видобуванні блоків з природного каменю / А.О. Криворучко, В.В. Коробійчук, Р.В. Соболевський, О.В. Камських, І.В. Павлюк // Вісник Житомирського державного технологічного університету / Серія: Технічні науки. – Житомир, 2016. – № 3 (78). – С. 150–163.
12. Закусило Р.В. Засоби ініціювання промислових зарядів вибухових речовин : монографія / Р.В. Закусило, В.Г. Кравець, В.В. Коробійчук. – Житомир : ЖДТУ, 2011. – 212 с.
13. Кравець В.Г. Фізичні процеси прикладної геодинаміки вибуху : монографія / В.Г. Кравець, В.В. Коробійчук, В.В. Бойко. – Житомир : ЖДТУ, 2015. – 408 с.

#### References:

1. Andreev, S.G. and Babkin, A.V. (2002), *Fizika vzryva*, in Orlenko, L.P. (ed.), in 2 volumes, Vol. 1, 3th ed., pererab. by Baum, F.A., Fizmatlit, Moskva, 823 p.
2. Sosnin, V.A. and Kolganov, E.V. (2003), «Issledovanie processa detonacii v jemul'sionnyh promyshlennyh vzryvchatykh veshhestvah», *Himicheskaja fizika*, Vol. 22, No. 8, pp. 100–107.
3. Sil'vestrov, V.V., Plastinin, A.V., Krahanov, S.M. and Zykov, V.V. (2008), «Kriticheskij diametr i tolshhina jemul'sionnogo vzryvchatogo veshhestva», *Fizika gorenija i vzryva*, Vol. 44, No. 3, pp. 121–127.
4. Poplavskij, V.A. (2009), *Problemy bezpeky vybuhovoi' spravy na kar'jerah*, NNDIPBOP, Kyiv, 160 p.
5. Kuk, M.A. (1980), *Nauka o promyshlennyh vzryvchatykh veshhestvah*, Translated from English, Nedra, Moskva, 453 p.
6. Manakov, V.F., Ivahnenko, A.V. and Koltunov, O.V. (2009), «Primenenie jemul'sionnogo vzryvchatogo veshhestva ukrainit v kar'erah Krivbassa», *Ukr. Sojuz inzhenerov-vzryvnikov*, Inform. Bjul., No. 1, pp. 8–12.
7. Korobijchuk, V.V., Sobolevskij, R.V. and Doslidzhennja, O.A. (2006), «Doslidzhennja shljahiv minimizacii vitrat pri burovibuhovomu sposobi vidobuvannja blokiv dekorativnogo kamenja», *Visnik Zhitomir'skogo derzhavnogo tehnologichnogo universitetu*, Serija *Tehnichni nauki*, Zhitomir, No. 4 (39), pp. 301–308.
8. Korobijchuk, V.V., Podchashynskij, Ju.O., Remezova, O.O., Sobolevskij, R.V. and Zubchenko, O.A. (2007), «Doslidzhennja vplivu burovibuhovih robot na jakist' blochnoi' produkcii kar'eru na osnovi viznachennja geometrichnih harakteristik ii trishhinovatosti», *Visnik Zhitomir'skogo derzhavnogo tehnologichnogo universitetu*, Serija *Tehnichni nauki*, Zhitomir, No. 3 (42), pp. 143–150.
9. Sobolevskij, R., Korobijchuk, V., Iskov, S., Pavliuk, I. and Kryvoruchko, A. (2016), «Exploring the efficiency of applying fractal analysis for the process of decorative stone quality control», *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 6/3 (84), pp. 32–40.
10. Kryvoruchko, A.O., Korobijchuk, V.V., Podchashynskij, Ju.O. and Remezova, O.O. (2007), «Zastosuvannja informacijno-kop'juternyh tehnologij dlja doslidzhennja girnycho-ekologichnyh osoblyvostej rodovyshh rudnyh i nerudnyh korysnyh kopalyn», *Visnyk Zhytomir'skogo derzhavnogo tehnologichnogo universitetu*. Serija: *Tehnichni nauki*, Vol. 1 (40), pp. 186–195.
11. Kryvoruchko, A.O., Korobijchuk, V.V., Sobolevskij, R.V., Kamskih, O.V. and Pavljuk, I.V. (2016), «Vyznachennja optimal'nogo naprjamku vedennja girnychych robot pry vydobuvanni blokiv z pryrodnogo kamenju», *Visnyk Zhytomir'skogo derzhavnogo tehnologichnogo universitetu*, Serija *Tehnichni nauki*, No. 3 (78), Zhytomir, pp. 150–163.
12. Zakusilo, R.V., Kravec', V.G. and Korobijchuk, V.V. (2011), *Zasobi inicijuvannja promislovih zarjadiv vibuhovih rechovin*, monografija, ZhDTU, Zhitomir, 212 p.
13. Kravec', V.G., Korobijchuk, V.V. and Bojko, V.V. (2015), *Fizichni procesi prikladnoi' geodinamiki vibuhu*, monografija, ZhDTU, Zhitomir, 408 p.

ПОПЛАВСЬКИЙ Володимир Антонович – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник Національного науково-дослідного інституту промислової безпеки та охорони праці.

Наукові інтереси:

- гірництво;
- проблеми безпеки вибухової справи на кар'єрах.

КРАВЕЦЬ Віктор Георгійович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри геобудівництва та гірничих технологій Національного технічного університету України.

Наукові інтереси:

- гірництво
- вибухова справа.

ШУКІЮРОВ Азер Меджидович – аспірант кафедри геобудівництва та гірничих технологій Національного технічного університету України.

Наукові інтереси:

- гірництво.

ПАВЛЕНКО Валерія Володимирівна – магістрантка Національного технічного університету України.

Наукові інтереси:

- гірництво.

Стаття надійшла до редакції 18.04.2017.