

С.Р. Дзікович, директор  
П.В. Седнів, заст. директора з виробництва і якості  
ТОВ «УКРТЕХНОАЛЬЯНС», м. Кривий Ріг  
О.А. Темченко, д.т.н., проф.  
Навчально-науковий технологічний інститут  
Державного університету економіки і технологій  
Г.В. Шиповський, к.т.н., гірничий інженер

## Обґрунтування параметрів проміжного детонатора з метою підвищення якості детонації свердловинних зарядів при веденні вибухових робіт на кар'єрах

*Якість вибухового дроблення скельних порід, що характеризується гранулометричним складом підірваної гірської маси, залежить від механізму руйнування і визначається фізико-механічними властивостями гірських порід, що руйнуються, параметрами вибухового імпульсу, умовами підривання. З перерахованих факторів параметри імпульсу вибуху є визначальними.*

*У цьому матеріалі розглянуто важливість початкового ініціюючого імпульсу свердловинного заряду від проміжного детонатора (ПД). Початковий імпульс складається з сукупності факторів: швидкості детонації, лінійних розмірів ПД, активної маси ПД, впливу зовнішнього середовища і системи ініціювання.*

*Ця стаття належить до типу оглядової, в ній проведено аналіз досліджень зі встановлення оптимальних параметрів та складу ПД.*

*Першочергова мета статті – це отримання оптимізації буропідривних робіт за рахунок ініціювання свердловинних зарядів. Величина початкового імпульсу від ПД дає змогу повного використання енергії вибуху свердловинного заряду для прийнятих стандартних умов, яка дає змогу регулювати гранулометричний склад підірваних гірських порід, що впливає на вартість наступних виробничих процесів. Друга мета, яка розглянута, це покращення опрацювання вибухом скельного уступу на рівні позначки горизонту (підкови) за рахунок концентрації ініціюючого імпульсу, який створює ПД. Тобто, за рахунок підбору свердловинного детонатора досягається вплив на інтенсивність та рівномірність дроблення гірських порід. Концентрація ініціюючого імпульсу на рівні підкови уступу дасть змогу зменшити обсяги буріння та масу вибухової речовини (ВР) при зменшенні величини технологічного перебуру свердловини.*

*Проведено огляд наукових джерел і проаналізовано вплив параметрів та фізичних властивостей ПД на швидкість детонації основного свердловинного заряду. Розглянуті технічні підходи по визначенню параметрів ПД та його розташування по довжині заряду.*

*Розглядаються параметри декількох шашок детонаторів, що використовуються в даний час гірничорудними підприємствами України.*

*Наголошено на необхідності більш виваженого підходу при виборі основним ПД між емульсійним патронуванням та тротиловим бустером.*

*Розглянута тема відхилення часу сповільнення детонаторів неелектричної системи ініціювання (НСІ) від номінальних значень, що може привести до погіршення дроблення гірничої маси.*

**Ключові слова:** свердловинний заряд; проміжний детонатор; вплив початкового імпульсу; вибухові роботи.

**Актуальність теми.** Буровибухові роботи у гірничодобувній галузі промисловості залишаються основним і ключовим процесом, від результату якого в подальшому залежать всі наступні технологічні процеси з переробки сировини. Якість дроблення гірничої маси залежить від різних складових. Один із критеріїв – величина початкового імпульсу свердловинного заряду, від якого залежить більш повне використання енергії вибуху свердловинного заряду для прийнятих стандартних умов, зменшення витрат на буропідривні роботи без зниження якості дроблення гірничої маси, зниження викидів шкідливих газів під час масових вибухів. Наявність варіантів проміжних детонаторів свердловинного заряду на ринку товарів вибухових матеріалів (ВМ) надає можливість робити вибір ПД для використання початкового імпульсу як одного із методів керування дробленням порід. Ключовим показником ефективності є можливість регулювання гранулометричного складу підірваних гірських порід, що впливає на вартість наступних виробничих процесів.

Для ініціювання ВР необхідно забезпечити надійне збудження нормальної детонації в заряді свердловин. Основну увагу при цьому слід приділяти величині ініціюючого імпульсу проміжного

детонатора (ПД), їх вазі та кількості ПД у заряді, типу вибухової речовини (ВР), що використовується в ПД, місцю розташування ПД у свердловині.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій, на які спираються автори.** Питаннями детонації свердловинних зарядів займалися В.Г. Кравець, В.Д. Воробйов, А.А. Фролов [3] та також автори наукових праць [1, 2, 5]. Вибору та характеристикам ПД присвячені публікації таких діячів гірничої справи, як: А.М. Шукюров, Ю.І. Войтенко [4], Б.Ф. Гречковський [9], Е.І. Єфремов, Б.І. Рімарчук, Г.Ф. Дробін, В.Я. Шварцер [13]. Дослідження властивостей, параметрів та дії ПД розглядали в своїй діяльності Р.В. Закусило, В.Г. Кравець, В.В. Коробійчук [7, 8]. Вплив розташування ПД у свердловинному заряді досліджували О.О. Фролов, О.Д. Горбань, І.О. Копка, В.Г. Кравець, О.М. Клеван [10, 11], а також А.Л. Ган, А.М. Шукюров, М.А. Бовкунович [14].

Зараз для виробництва підривних робіт має місце наявність декількох варіантів ВМ, застосовуваних як ПД, але не визначені їх оптимальні параметри для сучасних промислових вибухових речовин, що застосовуються на відкритих гірничих роботах у свердловинних зарядах. Також не оцінені переваги при застосуванні ПД з різними параметрами та властивостями для якості ініціювання основного свердловинного заряду.

**Метою статті** є аналіз наукових досліджень з використання шашок – детонаторів у свердловинних зарядах для подальшого визначення доцільності отриманих попередніх висновків шляхом промислових випробувань.

**Викладення основного матеріалу.** Повнота реалізації запасу енергії заряду вибухової речовини (ВР) забезпечується кількома складовими, одна з яких це застосування достатнього ініціюючого імпульсу. Під початковим імпульсом розуміють зовнішній вплив на заряд, необхідний для збудження вибуху ВР. Швидкість детонації заряду залежить від виду імпульсу та його сили. Для збудження нормальної незгасаючої детонації в заряді вторинного ВР необхідно, щоб ударна хвиля, що входить в заряд, була досить інтенсивною, тобто мала достатній тиск ударної хвилі. Фактор початкового імпульсу впливає на швидкість детонації основного свердловинного заряду, що своєю чергою є основним чинником ефективності вибухового дроблення [1, с. 78]. Зокрема для ВР з великим критичним діаметром багато залежить від шашок-детонаторів, що підсилюють імпульс від капсуля детонатора, та забезпечують більш повне використання енергії вибухової речовини свердловинного заряду [2, с. 210].

Результати досліджень показують, що початкова швидкість детонації ВР значною мірою залежить від величини ініціюючого імпульсу проміжного детонатора (бойовика). При недостатньому імпульсі детонація в заряді може поширюватися на початковому етапі в низькошвидкісному режимі, що є нестійким, переходить через деяку відстань від точки ініціювання в режим нормальної детонації. Також не виключені випадки згасання детонаційного процесу безпосередньо в зоні нестійкого низькошвидкісного режиму, що від загальної кількості свердловин може становити до 31,9 % [2, с. 208].

Відмінність фізичних властивостей ВР детонатора та заряду сприяє зміні параметрів ініціюючої детонаційної хвилі на межі їхнього розділу. Головна умова – фізичні властивості ВР детонатора мають бути більші за властивості ВР заряду, тобто швидкість детонації ПД повинна бути більша на 20–30 %, ніж основного заряду [7, с. 76]. Для прикладу значущості швидкості детонації для початкового імпульсу, автори [3, с. 139–140] описували конструкцію ПД, зробленого з детонуючого шнура (ДШ), з формою спірального вузла, у складі якого ВР ТЕН (тетранітропентаеритрит) зі швидкістю детонації, яка значно перевищує швидкість детонації ВР основного заряду свердловин. Про посилення ударно-хвильової дії на породу біля ПД з великою швидкістю детонації вказують автори [4, с. 110].

Як впливає з інформації джерела [5, с. 702], швидкість детонації сумішей ANFO та важкої ANFO збільшується зі збільшенням швидкості детонації та маси використовуваного ПД. Раніше для гранульованих ВР були зроблені наукові напрацювання, що фізичні властивості ПД мають істотно відрізнятися від основного свердловинного заряду ВР. У період широкого застосування гранульованих та водонаповнених ВР були виконані дослідження для визначення оптимальних складів та параметрів шашок детонаторів. Для цього типу ВР були виведені формули розрахунку геометричних параметрів – діаметра та висоти детонатора. При підриванні детонатора створюється імпульс, величина якого визначається як діаметром ПД, тау і його довжиною.

Для того, щоб ПД повноцінно ініціював ВР заряду, деякі розрахункові формули виходять з концепції, що діаметр детонатора повинен дорівнювати критичному діаметру детонації ВР, що буде ініційоване в свердловинному заряді. Розмір детонатора значно вплив на загальну енергію. Збільшення діаметра та/або висоти ПД сприяє збільшенню загальної енергії [6, с. 3].

Автори наголошували [7, с. 149–150], що зі збільшенням діаметра детонатора ростуть площа контакту з ініційованим зарядом і ефективною глибиною зони реакції в шарі ВР, що ініціюється від детонатора. При дослідженні ПД конічної форми [8, с. 45] широку торцеву частину, для концентрації імпульсу хвилі детонації, прагнули за рахунок кута конусності наблизити до діаметра заряду ВР в свердловині. Тобто, при критичному діаметрі ВР «Емоніт» – 120 мм розрахунки за вказаними методиками дають результати діаметра шашки приблизно 136 мм, що є більшим від діаметрів шашок, які використовують у сучасному

гірничому виробництві. З урахуванням того, що дослідження та отримані формули були виконані в другій половині ХХ століття для переважно гранульованих ВР, вказана концепція розрахунку діаметра детонатора не підходить для сучасних умов. В подальшому цей напрям потребує окремих ґрунтовних досліджень. Тобто, діаметр як параметр розміру детонатора в даний час врахувати не можливо та умовно вважаємо його оптимальним.

Що стосується довжини детонатора, для гранульованих ВР є рекомендації, де раціональні розміри детонатора перебувають у співвідношенні довжини детонатора до діаметра детонатора  $h/d = 1 \div 1,25$ . У той же час, виходячи з іншої концепції, рекомендувалися параметри з відношенням  $h/d \geq 2,25$ , оскільки величина ініціюючого імпульсу детонатора зростає зі збільшенням його довжини, що забезпечує достатні розміри початкового імпульсу ініціювання основного заряду. Необхідно також врахувати, що автори, що рекомендували параметри  $h/d = 1 \div 1,25$ , виводили їх аналітичним шляхом для гранульованих ВР, застосовуваних у той час, і зазначене співвідношення підходить до параметрів шашки Т400Г, яка широко застосовувалася в минулі періоди часу. Вказані рекомендації неоднозначні, та практика виробництва вибухових робіт показала, що шашка Т400Г, доцільність якої обґрунтовувалася, з параметрами  $h/d = 1 \div 1,25$ , повноцінно не зарекомендувала себе. І тому величина проміжного детонатора (точки ініціювання) була збільшена до 2 шашок Т400Г, зв'язка з яких дала сумарне збільшення довжини детонатора до  $h/d = 2$ . Тому подальше обґрунтування довжини ПД базуватиметься на співвідношенні  $h/d \geq 2,25$ .

Головна суть впливу довжини ПД, щоб фронт детонаційної хвилі в ПД від точки ініціювання вибуху капсулем-детонатором (КД,) у міру просування по циліндра заряду, зі сферичної форми перейшов у плоску форму для щільнішого контакту з зарядом ВР свердловини [9, с. 12]. Більш плоска форма детонаційної хвилі забезпечує найкращий початковий імпульс ініційованої ВР (свердловинного заряду). Збільшення довжини ініціатора до відомої межі сприяє росту часу дії ініціюючого тиску, а також підвищенню ефективної глибини зони реакції [7, с. 150]. В таблиці 1 наведено марки та параметри шашок детонаторів для розрахунку співвідношення  $h/d$ .

Таблиця 1

Параметри шашок детонаторів та показник співвідношення  $h/d$ 

| № з/п | Марка ПД    | Маса ПД, грам | Довжина ПД, мм | Активна довжина ПД, мм | Діаметр ПД, мм | $h/d$ | $\geq \leq 2,25$ |
|-------|-------------|---------------|----------------|------------------------|----------------|-------|------------------|
| 1     | КР 420 В    | 420           | 114            | 24                     | 63             | 0,38  | $\leq 2,25$      |
| 2     | NKG-500     | 500           | 200            | 110                    | 50             | 2,2   | $= 2,25$         |
| 3     | ВР А 5/50   | 500           | 175            | 85                     | 50             | 1,7   | $\leq 2,25$      |
| 4     | ВР А 7,5/50 | 750           | 265            | 175                    | 50             | 3,5   | $\geq 2,25$      |
| 5     | КР 840 В    | 840           | 228            | 138                    | 63             | 2,2   | $= 2,25$         |
| 6     | ВР А 10/50  | 1000          | 350            | 260                    | 50             | 5,2   | $\geq 2,25$      |
| 7     | ВР А 17     | 1700          | 370            | 280                    | 63             | 4,44  | $\geq 2,25$      |

Варто зазначити, що в технічній літературі використовується поняття «активна маса заряду». Активна маса заряду (активна частина заряду) діє в одному напрямку, створюючи фронт детонаційної хвилі. Що стосується ПД, для ефективності впливу на свердловинний заряд формування детонаційної хвилі має відбуватися від точки ініціювання ПД до торця циліндра шашки, куди буде спрямовано основний фронт детонаційної хвилі в шашці, набираючи максимальні параметри. Враховуючи те, що довжина гільзи капсуля-детонатора, яка занурена в тіло шашки, становить 93 мм, то і початкова точка ініціювання в шашці-детонаторі буде знаходитися на краю капсуля, де пройде початковий вибух. Тобто, активна довжина шашки складатиме відстань від торця капсуля до торця циліндра шашки. Ця величина вказана в таблиці 1 в стовбці № 5 і приймається для подальших розрахунків.

По отриманим результатам обчислення видно, що вимогам співвідношення задовольняють шашки масою 750–1700 грамів. Із застосуванням шашок-детонаторів з меншою масою (менших параметрів), за припущеннями авторів зазначених вище, потенційно можливе неповноцінне ініціювання ВР свердловинного заряду, що може теоретично вплинути на швидкість та стабільність детонаційних процесів заряду ВР. Цю теорію можуть перевірити лише додаткові дослідження. Слід врахувати, що багаторічний досвід використання на залізничних кар'єрах шашок, що містять тротил, загальною масою 400–500 грамів (ВР А 5/50, КР 420 В, NKG–500) не підтверджує цю теорію без додаткових досліджень.

Також мають місце й рекомендації, що у зарядах ВР, де немінучі інертні домішки шламу, масу проміжних детонаторів рекомендується збільшувати на 60–80 %. Проведені на деяких ВР дослідження показали, що занурення бойовика всередину основного заряду забезпечує приблизно триразовий запас ваги порівняно з розрахунковим. Треба враховувати, що сучасна практика ведення вибухових робіт в умовах кар'єрів Кривого Рогу передбачає розташування детонатора не в заряді (бажаний «класичний»

варіант), а безпосередньо в свердловині між стінкою та «рукавом» пристрою для розміщення вибухівки. Тоді й ймовірність знаходження проміжного детонатора в несприятливих умовах (шлам, повітряні та водяні проміжки між ПД і колонкою заряду) збільшується. Отже, для таких проблемних ділянок кар'єру потенційно необхідно передбачати більшу масу шашок-детонаторів, порівняно з масою шашок, які зазвичай стандартно використовують.

У виробничій практиці має місце застосування як основного проміжного детонатора патроновану емульсійну ВР (ЕВР). Залежно від виробника показник швидкості детонації патронованої ЕВР, як один з основних фізико-хімічних показників, в інформаційних джерелах на виріб заявляється в середньому до 5200 м/с. Цей показник більшість виробників заявляє як виведений розрахунковим шляхом або підтверджений лабораторними вимірами в певних ідеальних умовах при розміщенні ЕВР у пластиковій або сталевій трубі, саме це вказується в документації технічних показників продукту. Фактична швидкість детонації патронованої ЕВР, яка вимірюється згідно з нормативними документами, а саме ДСТУ EN 13631-14:2005, є значно меншою. Швидкість детонації, що зазначена в сертифікаті експертизи типу «модуль В», становить в середньому 3500 м/с. Треба зауважувати під час використання у вибухових роботах патронованого ЕВР, що в конструкції свердловинного заряду немає ідеальних лабораторних умов і необхідно враховувати фактичну швидкість детонації згідно з вимірами ДСТУ.

Детонаційна здатність ВР різко зростає в сталевих трубах і порівняно мало змінюється при розміщенні заряду ВР у пластичних середовищах. Оскільки в даний час патрунування ЕВР виконується в тонкій полімерній оболонці, то показник швидкості детонації вже буде нижчим. Тобто не витримується головна умова, що фізичні властивості ВР детонатора мають бути більші за властивості ВР заряду, і надійність ініціювання основного заряду від ПД з патрунованим ЕВР підлягає сумніву. З цих причин можливе недостатнє початкове ініціювання свердловинного заряду, що може давати нестабільну роботу ЕВР і, як наслідок, погіршення якості дроблення гірничої маси.

Практика показує, що є питання до якості дроблення підірваної гірничої маси, де використовувалось емульсійне патрунування як основний ПД свердловинного заряду. Цей факт особливо помітний на гранітних кар'єрах, де є невеликі обсяги підривання, і зменшення якості дроблення використовують у випадках, коли є можливість оптимізувати процес по критерію «ціна – якість». Але для об'ємів порід на гранітних кар'єрах, де важливе значення має гранулометричний склад, в складних геологічних умовах, та на об'ємах гірських порід, де є вимоги замовника по якості дроблення, завжди використовують тротилкові шашки. Це підтверджує постійний попит на тротилу шашку у підприємств, що виконують вибухові роботи в нерудній промисловості, незважаючи на більшу ціну відносно емульсійного патронованого виробу ВР.

Так само слід враховувати, що при конструкції свердловинного заряду з двома проміжними детонаторами, один з яких – «основний», а другий – «дублюючий», в разі необхідності «нижнього» ініціювання, для кращого опрацювання підосви уступу, інтервали уповільнення повинні бути різними. Тобто нижній ПД з номіналом 475 мс, а верхній з номіналом 500 мс. В цьому випадку першим буде підірвано нижній ПД, від якого і буде ініційовано основний свердловинний заряд. Верхній ПД в цьому випадку детонує від основного заряду ВР і не буде виконувати роль ініціатора. Якщо обрати однаковий час уповільнення внутрішньо свердловинних капсул неелектричної системи ініціювання (НСІ), наприклад, обидва з номіналом уповільнення по 500 мс, або обидва по 475 мс, та якщо різниця між розташуванням ПД становить більше 1 м, спрацює першим верхній детонатор. Другий (нижній) детонуватиме вже від детонації ВР і не виконає свого призначення по ініціюванню свердловинного заряду як «основний» ПД для нижнього ініціювання. Тобто, буде ініціювання свердловинного заряду з «верху». І якщо як верхній ПД буде патронована емульсійна ВР, яку можуть прийняти для «дублюючого» ПД, то ініціювання буде недостатнім для якісної детонації основного свердловинного заряду. Такий результат спрацювання ПД отримується через різницю швидкостей детонації ВР і хвилеводу НСІ (ВР – середня швидкість 5000 м/с; НСІ – 2000 м/с). Зниження швидкості детонації заряду з «верхнім» ініціюванням по відношенню до ініціювання «знизу» підтверджено замірами, проведеними на замовлення ПрАТ «ІНГЗК» фахівцями та приладом ПрАТ «Інтервибухпром» спільно з ТОВ «СВП «Криворіздорвибухпром» в умовах кар'єру ПрАТ «ІНГЗК» (Ігулецький гірничо-збагачувальний комбінат). Виміри швидкості детонації виконувалися приладом Канадського виробництва «MicroTrap VOD DataRecorder 7246», в конструкції заряду використовувалися тротилкові проміжні детонатори ЗТП 800, ВР – емульсійна вибухова речовина «Україніт ПП2».

Через різницю швидкостей детонації ВР та хвилеводу НСІ не можливо отримати «зустрічне» ініціювання від двох ПД. Спрацює лише один верхній ПД, інший ПД буде детоновано від свердловинного заряду. Запропонований спосіб використання ефекту взаємодії детонаційних хвиль при зустрічному ініціюванні верхнього та нижнього бойовиків, що досягається шляхом регулювання довжин хвилеводів [10, с. 27; 11, с. 119], є трудомістким та не технологічним, при великих обсягах виробництва, і в разі розташування нижнього ПД на рівні, або вище за проєктний рівень підосви уступу, використання цього

способу не дасть опрацювання вибухом підосви уступу, оскільки місце зустрічі детонаційних хвиль буде вище за рівень підосви уступу.

Також на черговість спрацювання верхнього чи нижнього детонатора впливає якість системи ініціювання. Для прикладу (табл. 2), середній фактичний розкид часу спрацювання внутрішньо свердловинних сповільнювачів з номіналом 475 і 500 мс для системи «Шок Стар» виробництва «AustinDetonator» становить 16,8 і 8,7 мс відповідно (3,5 і 1,7 %). Для порівняння детонатори системи «МАХАМ» виробництва Іспанії, з номіналом 450 мс дають максимальну похибку до 99 мс (22 %), тобто великий відсоток ймовірності спрацювання «верхнього» дублюючого детонатора системи з номіналом 500 мс замість «нижнього» ініціювання. Точність спрацювання систем треба уточнювати у виробника (представника), оскільки у кожного виробника свої параметри точності спрацювання до заявленого часу затримки.

Таблиця 2

Результати вимірювання часу уповільнення внутрішньосвердловинних сповільнювачів (по 10 зразків)

| Виробник         | Номінальне уповільнення, мс | Фактичне середнє уповільнення, мс | Фактичне максимальне уповільнення, мс | Фактичне мінімальне уповільнення, мс | Розкид, мс | Стандарт відхилення, мс |
|------------------|-----------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|------------|-------------------------|
| «AUSTIN», Чехія  | 475,0                       | 476,3                             | 484,6                                 | 467,7                                | 16,8       | 4,9                     |
| «AUSTIN», Чехія  | 500,0                       | 497,7                             | 502,6                                 | 494,0                                | 8,7        | 2,7                     |
| «МАХАМ», Іспанія | 450,0                       | 507,3                             | 549,0                                 | 450,0                                | 99,0       | 30                      |

Тобто важливість надійного ініціювання основного ПД в свердловинному заряді є великою. Застосування проміжних бойовиків із підвищеною детонаційною характеристикою використовують як метод управління енергією вибуху для інтенсифікації дроблення. Це обумовлено тим, що швидкість детонації зростає зі збільшенням маси ініціатора, та існує наявність зв'язку між енергією ініціювання та швидкістю детонації заряду [12, с. 567].

**Висновки та перспективи подальших досліджень.** У результаті проведеного аналізу можна констатувати:

1. Швидкість детонації ВР шашки-детонатора, що містить тротил, становить 7000 м/с, що з урахуванням швидкості детонації ВР марки «Емоніт» (4800–5200 м/с) достатньо для створення початкового імпульсу;

2. Геометричні пропорції деяких шашок-детонаторів у співвідношенні довжини до діаметра можуть не задовольняти вимогам для надійного формування якісного фронту детонаційної хвилі для початкового імпульсу при ініціюванні свердловинного заряду. Можуть бути випадки, коли ВР в свердловинному заряді (деяких зарядах) буде детонувати в нестабільному режимі, що позначиться на якості подрібнення гірських порід, і це може бути не відразу помітно в загальних об'ємах підірваної маси;

3. На якість передачі початкового імпульсу можуть вплинути і відповідно зменшити величину початкового імпульсу такі фактори, як інертні домішки шламу з водою, які теоретично можуть зробити між ПД та основним зарядом у свердловині інертний прошарок;

4. Фізико-хімічні показники патронуваного ЕВВ недостатні для надійного ініціювання свердловинного заряду з ЕВВ, та, як наслідок, це може вплинути на стабільність детонування заряду по всій висоті колонки заряду.

Як пропозиції зі стабілізації дроблення гірських порід варто розглянути такі пункти:

1. Для порівняння якості дрібнення гірничої маси вибухом зробити підривання блоків з масою ПД більшою ніж 400–500 грамів (для прикладу, більше за КР 420В.) Порівняння провести на блоках з розподілом на «контрольну» та «експериментальну» ділянки в однакових гірничо-геологічних умовах та з однаковими проєктно-технічними рішеннями;

2. Для ділянок кар'єру, де мають місце складні гідрогеологічні умови, і ПД може спрацювати в несприятливому шламовому середовищі, пропонується заздалегідь використовувати ПД більшої маси. Для подальших висновків про якість подрібнення і доцільності застосування ПД більшої маси провести підривні роботи, з використанням «контрольної» та «експериментальної» ділянки.

Для подальших досліджень пропонується пропозиція покращення дроблення масиву порід у нижній частині уступу за рахунок концентрації ініціювання, яке буде досягнуто використанням ПД масою 1700 грамів у конструкції свердловинного заряду, розташованого як основний проміжний детонатор в нижній частині свердловини (ініціювання знизу). За рахунок концентрації ініціювання заряду в нижній

частині свердловини очікується краща проробка підосви уступу вибухом. Пропозиція базується та обґрунтовується зазначеним далі описом.

Місце ініціювання вертикальних та похилих подовжених зарядів доцільно в тій його частині, де робота вибуху найбільш ускладнена. Науково досліджено і доведено, що при ініціюванні колонки заряду «знизу», більш інтенсивно опрацьовується нижня частина уступу, де поле напруги розвивається з випередженням. За такої конструкції свердловинного заряду, з розташуванням основного проміжного детонатора в нижній частині свердловини, краще проробляється нижня проблемна частина уступу, де найбільше значення лінії найменшого опору (ЛНО).

У виробничій практиці другої половини XX століття для малочутливих вибухових сумішей АС-ДТ використовувався метод ініціювання із застосуванням проміжних детонаторів патронованих ВР великого діаметра з високою швидкістю детонації. Також за рахунок великої контактної поверхні це сприяло стійкій, а на початковому етапі, підвищеній детонації ініційованого ВР. Збільшення маси, діаметра ПД проводилися на різних ВР з досягненням позитивного ефекту. Для прикладу, були виконані дослідно-промислові випробування конструкції свердловинного заряду ВР «Акватол Т20Г» (ГЛТ 20), що передбачала заповнення перебуру свердловини гранулоломом з розміщенням детонатора в нижній частині свердловини. Тим самим створювали «бустер» з тротилу рівним діаметру заряду для решти свердловини, що збільшувало реалізацію енергії заряду [13, с. 75–78]. Також відома технологія комбінованого заряду, яку використовували в умовах кар'єру Полтавського ГЗК, яка передбачала формування «бустера» з балістичного порошу в нижній частині свердловини, з розміщенням в ньому ПД. Це використовувалося для збільшення початкового імпульсу та для підвищення детонаційних властивостей основного свердловинного заряду. Вказана конструкція заряду дозволяла зменшити величину перебуру свердловини та руйнування покрівлі нижнього уступу. Пропозиції щодо застосування потужних бойовиків конічної форми для вирішення питання опрацювання перебуру свердловини вибухом розглядали автори [14, с. 14].

В умовах кар'єру ПрАТ «ІНГЗК» було виконано заміри швидкості детонації ВР «Україніт ПП2», для різних конструкцій свердловинних зарядів, приладом Канадського виробництва «MicroTrap VOD DataRecorder 7246», з залученням фахівців ПрАТ «Інтервибухпром» спільно з ТОВ «СВП «Криворіждорвибухпром». Порівнювалися конструкції з ініціюванням одночасно двома шашками ЗТП 800, що розташовані на однаковій глибині (сумарно 1600 грамів), та ініціювання одною шашкою ЗТП 800. Дані замірів підтверджують збільшення швидкості детонації при посиленому ініціюванні до 5226 м/с. Швидкість детонації при ініціюванні одним ЗТП 800 складала 4977 м/с.

Висновки щодо пропозиції збільшення ПД для концентрації ініціювання:

1. У місці розташування ПД у свердловинному заряді спостерігається збільшена детонація [15, с. 530] (може спостерігатися занадто стиснута детонація) основного ВР, яка в міру просування колонки заряду знижується до паспортних значень;

2. Також передбачається залежність детонації основного свердловинного заряду від величини і потужності ПД;

3. Довжина ПД впливає на кривизну фронту хвилі детонації, а це позначається на розмірах початкового імпульсу ініціювання і надійності підривання свердловинного заряду;

4. З наявних на ринку засобів підривання шашка детонатор ВР А 17 (масою 1700 грамів) має діаметр 63 мм, що в поєднанні з параметрами довжини шашки дозволяє формі фронту хвилі детонації бути близькою до плоскої, і розміри поверхні початкового контакту хвилі від ПД з зарядом ВР збільшуються до площі поперечного перерізу ПД. Тобто точка ініціювання ВР більш об'ємна за площею.

Отже, сконцентрувавши початкову потужнішу енергію ініціювання ВР у нижній частині свердловини, потенційно повинні отримати поліпшення опрацювання вибухом масиву порід. Це своєю чергою дає змогу зменшити величину технологічного перебуру свердловини, наприклад до 1 м, та зменшити масу заряду на таку саме величину, що, залежно від вартості складових буровибухових робіт, може привести до певного економічного ефекту. Доцільність описаних досліджень та аргументів необхідно перевірити практично, виконавши промислові випробування.

#### Список використаної літератури:

1. Experimental specification of the nature of rock mass fragmentation by blasting of borehole charges of variable length / D.Titov, D.Zahorsky, Y.Hryhoriev and other // Technology Audit and Production Reserves. – 2025. – Vol. 3, № 1 (83). – P. 78–85. DOI: 10.15587/2706-5448.2025.331974.
2. Effect of Priming on the Detonation Development of an ANFO Explosive / P.Mertuszka, K.Fulawka, D.Buczowski, M.Pytlik // Central European Journal of Energetic Materials. – 2025. – Vol. 22, № 2. – P. 196–212. DOI: 10.22211/cejem/207461.
3. Коробійчук В.В. Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт : підручник / В.В. Коробійчук, В.О. Соколовський, С.С. Іськов. – Житомир : ЖДТУ, 2019. – 332 с.
4. Шукорюв А.М. Про фізичні принципи для проєктування бойовиків свердловинних зарядів / А.М. Шукорюв, Ю.І. Войтенко / Проблеми геоінженерії та підземної урбаністики : зб. наук. праць. – 2019. – Вип. 2. – С. 109–112.

5. Žganec S. Influence of a Primer on the Velocity of Detonation of ANFO and Heavy ANFO Blends / S.Žganec, V.Bohanek, M.Dobrilović // *Central European Journal of Energetic Materials*. – 2016. – Vol. 13, № 3. – P. 694–704. DOI: 10.22211/cejem/65006.
6. Influence of booster size on the total energy of RBUL-1 explosive in underwater explosion / T.Cao, L.Zhou, X.Zhang, J.Wang // *IOP Conf. Series : Materials Science and Engineering*. – 2017. – Vol. 167. DOI: 10.1088/1757-899X/167/1/012074.
7. Закусило Р.В. Засоби ініціювання промислових зарядів вибухових речовин : монографія / Р.В. Закусило, В.Г. Кравець, В.В. Коробійчук. – Житомир : ЖДТУ, 2011. – 212 с.
8. Закусило Р.В. Дослідження проміжних детонаторів конічної форми / Р.В. Закусило / Інноваційний розвиток гірничодобувної галузі : II міжнародна науково-технічна інтернет-конференція. – Кривий Ріг : ДВНЗ «КНУ», 2017. – 45 с.
9. Гречковський Б.Ф. Теоретичні та практичні основи керування формою детонаційної хвилі у заряді, що вибухає / Б.Ф. Гречковський. – Донецьк : Східний видавничий дім ; Український Культурологічний Центр, 2001. – 112 с.
10. Фролов О.О. Розміщення бойовиків у свердловинному заряді для проробки підшви уступу / О.О. Фролов, О.Д. Горбань / Інноваційний розвиток гірничодобувної галузі : II міжнародна науково-технічна інтернет-конференція. – Кривий Ріг : ДВНЗ «КНУ», 2017. – 27 с.
11. Обґрунтування місця розміщення проміжних детонаторів в свердловинному заряді для підсилення дії вибуху в підшві уступу / І.О. Копка, В.Г. Кравець, О.О. Фролов, О.М. Клеван // *Вісник ЖДТУ*. – 2015. – № 4 (75). – С. 117–122.
12. Bohanek V. Influence of the Initiation Energy on the Velocity of Detonation of ANFO Explosive / V.Bohanek, M.Dobrilović, V.Škrlec // *Central European Journal of Energetic Materials*. – 2013. – Vol. 10, № 4. – P. 555–568 [Electronic resource]. – Access mode : <https://www.bib.irb.hr:8443/655117>.
13. Особливості формування свердловинних зарядів ВР, що ллються гарячими / Е.І. Єфремов, Б.І. Рімачук, Г.Ф. Дробін, В.Я. Шварцер // *Металургійна та гірничорудна промисловість*. – 2001. – № 5. – С. 75–78.
14. Розвиток силового поля в системі суміжних свердловинних зарядів / В.Г. Кравець, А.Л. Ган, А.М. Шукюров, М.А. Бовкунович // *Геоінженерія*. – 2020. – Вип. 2. – С. 7–15.
15. Kabwe E. Velocity of detonation measurement and fragmentation analysis to evaluate blasting efficacy / E.Kabwe // *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. – 2018. – № 10. – P. 523–533 [Electronic resource]. – Access mode : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1674775517301981>.

#### References:

1. Titov, D., Zahorsky, D., Hryhoriev, Y. et al. (2025), «Experimental specification of the nature of rock mass fragmentation by blasting of borehole charges of variable length», *Technology Audit and Production Reserves*, Vol. 3, No. 1 (83), pp. 78–85, doi: 10.15587/2706-5448.2025.331974.
2. Mertuszka, P., Fuławka, K., Buczkowski, D. and Pytlík, M. (2025), «Effect of Priming on the Detonation Development of an ANFO Explosive», *Central European Journal of Energetic Materials*, Vol. 22, No. 2, pp. 196–212, doi: 10.22211/cejem/207461.
3. Korobiychuk, V.V., Sokolovsky, V.O. and Iskov, S.S. (2019.), *Destruction of rocks and safety of blasting*, textbook, ZhDTU, Zhytomyr, 332 p.
4. Shukiurov, A.M. and Voitenko, Yu.I. (2019), «Pro fizychni pryntsyipy dlia proektuvannia boiovykiv sverdlornykh zariadiv», *Problemy heoinzhenerii ta pidzemnoi urbanistyky*, zb. nauk. prats, Issue 2, pp. 109–112.
5. Žganec, S., Bohanek, V. and Dobrilović, M. (2016), «Influence of a Primer on the Velocity of Detonation of ANFO and Heavy ANFO Blends», *Central European Journal of Energetic Materials*, Vol. 13, No. 3, pp. 694–704, doi: 10.22211/cejem/65006.
6. Cao, T., Zhou, L., Zhang, X. and Wang, J. (2017), «Influence of booster size on the total energy of RBUL-1 explosive in underwater explosion», *IOP Conf. Series. Materials Science and Engineering*, Vol. 167, doi: 10.1088/1757-899X/167/1/012074.
7. Zakusylo, R.V., Kravets, V.H. and Korobiichuk, V.V. (2011), *Zasoby initsiiuvannia promyslovykh zariadiv vybukhovyykh rehovyn*, monohrafiia, ZhDTU, Zhytomyr, 212 p.
8. Zakusylo, R.V. (2017), «Doslidzhennia promizhnykh detonatoriv konichnoi formy», *Innovatsiyni rozvytok hirnychodobuvnoi haluzi*, II mizhnarodna naukovo-tekhnichna internet-konferentsiia, DVNZ «KNU», Kryvyi Rih, 45 p.
9. Hrechkovskiy, B.F. (2001), *Teoretychni ta praktychni osnovy keruvannia formoiu detonatsiynoi khvyli u zariadi, shcho vybukhaie*, Skhidnyi vydavnychiy dim, Ukrainskyi Kulturolohichnyi Tsent, Donetsk, 112 p.
10. Frolov, O.O. and Horban, O.D. (2017), «Rozmishchennia boiovykiv u sverdlornykh zariadi dlia prarobky pidshvy ustupu», *Innovatsiyni rozvytok hirnychodobuvnoi haluzi*, II mizhnarodna naukovo-tekhnichna internet-konferentsiia, DVNZ «KNU», Kryvyi Rih, 27 p.
11. Kopka, I.O., Kravets, V.H., Frolov, O.O. and Klevan, O.M. (2015), «Obgruntuvannia mistsia rozmishchennia promizhnykh detonatoriv v sverdlornykh zariadi dlia pidsylennia dii vybukhu v pidshvi ustupu», *Visnyk ZhDTU*, No. 4 (75), pp. 117–122.
12. Bohanek, V., Dobrilović, M. and Škrlec, V. (2013), «Influence of the Initiation Energy on the Velocity of Detonation of ANFO Explosive», *Central European Journal of Energetic Materials*, Issue 10 (4), pp. 555–568, [Online], available at: <https://www.bib.irb.hr:8443/655117>
13. Yefremov, E.I., Rimarchuk, B.I., Drobín, H.F. and Shvartser, V.Ya. (2001), «Osoblyvosti formuvannia sverdlornykh zariadiv VR, shcho liutsia hariachymy», *Metalurhiina ta hirnychorudna promyslovis*, No. 5, pp. 75–78.
14. Kravets, V.H., Han, A.L., Shukiurov, A.M. and Bovkunovych, M.A. (2020), «Rozvytok syloвого polia v systemi sumizhnykh sverdlornykh zariadiv», *Heoinzheneriia*, Issue 2, pp. 7–15.

15. Kabwe, E. (2018), «Velocity of detonation measurement and fragmentation analysis to evaluate blasting efficacy», *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, No. 10, pp. 523–533, [Online], available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1674775517301981>

**Дзікович** Сергій Романович – директор ТОВ «УКРТЕХНОАЛІАНС», м. Кривий Ріг.

<https://orcid.org/0009-0007-8343-7505>.

Наукові інтереси:

- перспективні технології буровибухових та спеціальних вибухових робіт;
- зменшення екологічного впливу на екосистему.

E-mail: [tehnalliance@ukr.net](mailto:tehnalliance@ukr.net).

**Сєднів** Павло Володимирович – заступник директора з виробництва і якості ТОВ «УКРТЕХНОАЛІАНС», м. Кривий Ріг.

<https://orcid.org/0009-0002-4555-726X>.

Наукові інтереси:

- ефективність буровибухових робіт у гірничій промисловості та спеціальних вибухових робіт;
- захист навколишнього середовища.

E-mail: [pavelsednev76@gmail.com](mailto:pavelsednev76@gmail.com).

**Темченко** Олександр Анатолійович – доктор технічних наук, професор кафедри хімічних технологій та інженерії Навчально-наукового технологічного інституту Державного університету економіки і технологій.

<https://orcid.org/0000-0003-0020-2430>.

Наукові інтереси:

- енергоефективність технологій відкритої розробки родовищ корисних копалин та конкурентоспроможність гірничодобувних підприємств.

E-mail: [temchenko\\_oa50@ukr.net](mailto:temchenko_oa50@ukr.net).

**Шиповський** Геннадій Володимирович – кандидат технічних наук, гірничий інженер.

<https://orcid.org/0009-0001-5708-591X>.

Наукові інтереси:

- раціональне використання енергії вибуху та інтенсифікація впливу вибухових технологій.

E-mail: [shipovskijgennadij@gmail.com](mailto:shipovskijgennadij@gmail.com).

**Dzikovich S.R., Siedniev P.V., Temchenko O.A., Shipovskij G.V.**

**Substantiation of the parameters of an intermediate detonator to improve the quality of detonation of borehole charges during blasting operations in quarries**

The quality of explosive rock crushing, characterized by the granulometric composition of the blasted rock mass, depends on the mechanism of destruction and is determined by the physical and mechanical properties of the rock destroyed, the parameters of the explosive pulse, and the blasting conditions. Of the factors listed, the parameters of the explosive pulse are decisive. This material considers the importance of the initial pulse that initiates the borehole charge from the intermediate detonator (ID). The initial pulse consists of a combination of factors: detonation rate, linear dimensions of the ID, active mass of the ID, the influence of the environment and the initiation system. This article is classified as a review article. It analyzes studies on establishing optimal parameters and composition of the ID.

The primary objective of the article is to optimize drilling and blasting operations by initiating borehole charges. The magnitude of the initial impulse from the ID allows full utilization of the explosion energy of the borehole charge for accepted standard conditions, which makes it possible to regulate the granulometric composition of the blasted rock, which affects the cost of subsequent production processes. The second objective considered is to improve the blasting of rock ledges at the horizon level (base) by concentrating the initiating pulse created by the ID. In other words, by selecting the right borehole detonator, it is possible to influence the intensity and uniformity of rock fragmentation. Concentration of the initiating pulse at the level of the ledge base will reduce the amount of drilling and the mass of explosive material while reducing the amount of technological re-drilling of the borehole.

A review of scientific sources was conducted and the influence of ID parameters and physical properties on the detonation rate of the main borehole charge was analyzed. Technical approaches for determining ID parameters and its location along the length of the charge were considered. The use of ID explosive with technical parameters exceeding those of emulsion explosive (EE) for borehole charges, which is currently widely used in open-pit mining, has been proven.

The parameters of several cartridge detonators currently used by mining enterprises in Ukraine are considered.

The need for a more balanced approach when choosing between emulsion cartridges and TNT boosters as the primary ID was emphasized.

The topic of deviation of the delay time of detonators of a non-electric initiation system (NIS) from nominal values, which can lead to deterioration of rock fragmentation, is considered.

**Keywords:** borehole charge; intermediate detonator; influence of the initial pulse; blasting operations.

Стаття надійшла до редакції 12.09.2025.