

**О.Я. Тверда, д.т.н., доц.  
К.К. Ткачук, д.т.н., проф.  
КПІ ім. Ігоря Сікорського**

## **Підвищення рівня екологічної безпеки під час вибухового руйнування скельних порід у кар'єрах**

*Визначальним під час проведення підривних робіт, не тільки для вибору мережі свердловин і якості подрібнення порід, але й для зниження впливу на навколишнє середовище та втрат нерудних корисних копалин, пов'язаних з надмірним подрібненням породи під час вибуху, є тип вибухової речовини.*

*Аналіз досліджень показав, що питанням визначення ефективності вибухових речовин за різними технічними характеристиками та залежно від їх хімічного складу присвячено значну кількість праць. Основним критерієм вибору вибухової речовини для проведення підривних робіт вважається ефективність вибухового руйнування або якість підірваної гірської маси (гранулометричний склад). Екологічні показники вибухової речовини або їх вплив на навколишнє середовище в процесі вибору вибухової речовини, у більшості випадків, не враховується взагалі. З метою зменшення кількості утворюваних у результаті вибуху шкідливих газів запропоновано, за можливості, коригувати хімічний склад вибухової речовини без зміни рецептури. Встановлено закономірність зміни кількості утвореного Нітроген (II) оксиду та Карбон (IV) оксиду під час вибуху від хімічного складу дизельного палива у вибуховій речовині.*

*Доведено, що зміна хімічного складу дизельного палива дає можливість наблизити величину кисневого балансу до нуля, зменшити кількість утворених під час вибухів шкідливих газів, і, відповідно, зменшити суму сплати екологічного податку. Для нейтралізації шкідливих газів, що залишаються після зміни хімічного складу дизельного палива у вибуховій речовині, запропоновано застосувати розроблену конструкцію забійки, яка передбачає двостадійну очистку від шкідливих газів, утворених у процесі вибухового руйнування скельних порід, і базується на хемосорбції газів негашеним вапном або відходами виробництва, які його включають, та фізико-хімічній сорбції (адсорбції) цеолітами.*

*Запропоновані рішення дозволять зменшити кількість шкідливих газів, що утворюються під час вибухового руйнування скельних порід, більш ніж на 85 % порівняно з класичною технологією ведення підривних робіт.*

**Ключові слова:** вибухова речовина; підривні роботи; масовий вибух; шкідливі гази; хімічний склад; конструкція забійки, сорбція.

**Актуальність теми.** Під час проведення гірничих робіт у повітряне середовище надходить значна кількість шкідливих газів, підвищуючи рівень екологічного та техногенного ризику понад межу прийнятного показника. Концентрація шкідливих газів у робочій зоні кар'єру може у десятки разів перевищувати гранично допустиме значення, що не відповідає нормативним вимогам екологічної безпеки. Про масштаби забруднень пилом свідчить рівень концентрацій пилу біля джерел утворення під час технологічних процесів від 0,5 мг/м<sup>3</sup> до 3000 мг/м<sup>3</sup> і вище.

Найбільш масштабними джерелами забруднення пилом та шкідливими газами є масові вибухи як невід'ємна та незамінна операція загального технологічного процесу видобутку скельних порід відкритим способом. Водночас тип вибухової речовини (ВР) є визначальним не тільки для вибору мережі свердловин і якості подрібнення порід, але й для зниження впливу на навколишнє середовище та втрат нерудних корисних копалин, що пов'язані з надмірним подрібненням породи під час вибуху [1].

Істотні відмінності мають критерії оцінки ефективності вибуху для гірничих підприємств, які виробляють високоякісний щебінь для дорожнього, промислового і житлового будівництва. Тут потрібно не тільки забезпечити під час вибуху відсутність негабаритів і досягнення заданого середнього розміру шматків, важливо не допустити переподрібнення породи – гранітів, діабазів, габро. Пилоподібна фракція, що утворюється в ближній зоні вибуху зарядів високобризантних ВР і часто перевищує 20 % загальної гірської маси, є прямою втратою гірничого виробництва [2].

**Аналіз останніх досліджень та публікацій, на які спирається автор.** Важливим напрямом підвищення ефективності і безпеки вибухових робіт у кар'єрах є розширення області застосування вибухових сумішей найпростішого складу типу AN – FO (AC – ДП), або аміачна селітра – дизельне паливо. Це продиктовано не лише необхідністю скорочення витрати дорогих, дефіцитних тротиловісних ВР, а й підвищенням вимог до технологічної та екологічної безпеки підривних робіт [3].

Зокрема, ЗАТ «Техновибух» розроблено низку типів промислових ВР для заряджання свердловин з формуванням зарядів у поліетиленові рукави, а саме: полімікси ГРІ, комполайти ГС, комполайти ПС та ін. [4]. На гранітних кар'єрах частка ВР найпростішого складу коливається в межах 8–10 %. Однак в останні роки для відбійки гірських порід на гранітних кар'єрах почали активно застосовувати емульсійні ВР (ЕВР), частка яких становить більше 40 % уже близько 10 років [5].

Експериментальними вимірами встановлено, що під час підривання ЕВР відбувається значне зменшення забруднення навколишнього середовища порівняно з процесом підривання промислових ВР, які містять тротил [6]. Максимальний об'єм токсичних газів під час вибуху ВР (л/кг) за даними [7] показано на рисунку 1.



Рис. 1. Максимальний обсяг токсичних газів під час підривання вибухових речовин за нормальних умов

На даний час в Україні проводиться виробництво для застосування на відкритих гірничих роботах декількох різних видів промислових ЕВР, що випускаються під марками «Україніт», «Анемікс», «Емоніт» і «Гранеміт», «ЕРА» та ін. [8]. Популярними в Росії є ЕВР типу Сібірїт, розроблені ЗАТ «Нітро Сібір» [2], за кордоном широко застосовують ЕВР типу: Apex, Power AN, Iregel, Iremex, Tovex E, Toven E (США), Emulit, Emulan (Швеція), Tovex, Tovap (Канада), Emulgut (Німеччина), ВМЕ (Китай), Kimit (Фінляндія), Chita-Mite (Японія) [9].

Аналіз досвіду України, США, Росії, Швеції та інших країн у сфері створення, виробництва і застосування ЕВР дозволив зробити такі висновки. Компоненти ЕВР є безпечними і не належать до вибухових матеріалів. ЕВР мають низьку чутливість до механічних і теплових впливів та підвищену водостійкість. Зазвичай не містять дорогих і дефіцитних компонентів, але водночас є досить потужними.

На відміну від тротиловмісних дають можливість використовувати механізоване заряджання свердловин, а вибухові властивості з'являються у невибухових компонентів через нетривалий час. Незважаючи на схожість компонентного складу різних ЕВР, відмінності в технологіях і способах їх виготовлення впливають на результати вибухового руйнування скельних порід в умовах підвищення вимог до отримання гірської маси необхідного гранулометричного складу та до екологічної безпеки. Здійснюють менше навантаження на навколишнє середовище, однак його не виключають.

Аналізу сучасних наукових досліджень впливу ВР (продуктів вибуху) на навколишнє середовище показав зазначене далі, [10, 11] наведено результати дослідження утворення й підняття пилогазової хмари, що формується під час вибухів заводських і нових промислових сумішевих ВР місцевого приготування.

У [12] запропоновано здійснювати вибір ВР за комплексним коефіцієнтом ефективності ВР, який враховує її технічну, економічну та екологічну ефективності. Однак на практиці реалізувати такий вибір не завжди є можливим і економічно доцільним.

Твердим В.В. [13] запропоновано використовувати концентрацію шкідливих газів на момент формування ПГХ під час проведення масового вибуху для характеристики ВР з точки зору екологічної безпеки і зіставлення отриманих результатів для виділення менш та більш екологічно безпечних складів ВР. Однак такий підхід не є коректним, оскільки не враховує матеріал забійки та його здатність адсорбувати утворені внаслідок вибуху газу. Більш доцільним та раціональним може бути комплексний підхід щодо вибору ВР у поєднанні з забійковим матеріалом. Тому питання вибору ВР для вибухового руйнування скельних порід з метою виробництва щебеню, яка б забезпечувала одночасно необхідний гранулометричний склад та високі показники екологічної безпеки, є актуальним.

Аналіз досліджень показав, що питанням визначення ефективності ВР за різними технічними характеристиками та залежно від їх хімічного складу присвячено значну кількість праць. Основним

критерієм вибору ВР для проведення ПР вважається ефективність вибухового руйнування або якість підірваної гірської маси (гранулометричний склад). Екологічні показники ВР або їх вплив на навколишнє середовище в процесі вибору ВР, у більшості випадків, не враховується взагалі.

**Метою статті є** підвищення рівня екологічної безпеки вибухового руйнування скельних порід у кар'єрах за рахунок зміни хімічного складу ВР без зміни рецептури та використання забійки на основі адсорбентів.

**Викладення основного матеріалу.** Серед найперспективніших способів зменшення газоутворення під час вибухів є зміна хімічного складу вибухівок, а саме перехід до безтротилових компонентів, використання ЕВР, що характеризуються близьким до нуля кисневим балансом (КБ). Це дозволяє знизити вміст шкідливих речовин у продуктах вибуху і, відповідно, знизити їх викиди у навколишнє середовище [14].

Конкурентоспроможною альтернативою колишнім тротиловмісним ВР слугують ЕВР. На прикладі однієї з таких речовин розглянуто характер зміни кількості утворених у результаті вибуху шкідливих газів від зміни хімічного складу вибухівки.

Зміна хімічного складу ВР дозволяє варіювати не лише відсотковим вмістом кожної складової вибухівки, але й окремо змінювати хімічний склад компонентів. Так зміна хімічного складу дизельного палива, за умов незмінного відсоткового вмісту його у складі ВР, передбачає зміну кількості атомів водню, що необхідно окислити в процесі вибуху. Зважаючи на це, запропоновано змінити хімічний склад дизельного палива у складі ВР (від  $C_{13}H_{10}$  до  $C_{13}H_{23}$ ) та перерахувати кількість утворених газів.

Враховуючи хімічний склад досліджуваної ВР (ВР1), поступово змінювали хімічний склад дизельного палива. Відсотковий вміст кожної компоненти ВР1:

- аміачна селітра ( $NH_4NO_3$ ) – 28,35 %;
- дизельне паливо ( $C_{13}H_{10}$ ) – 1,65 %;
- емульсія пореміту – 70 %:
- а) аміачна селітра ( $NH_4NO_3$ ) – 62 %,
- б) натрієва селітра ( $NaNO_3$ ) – 16 %,
- в) масло індустриальне ( $C_{12}H_{28}$ ) – 5 %,
- г) вода ( $H_2O$ ) – 15 %,
- д) емульгатор ( $C_6H_{14}O_6$ ) – 2 %.

Для оцінки впливу ВР на навколишнє середовище проведено розрахунок величини КБ для ВР з різним хімічним складом дизельного палива. Результати розрахунків наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

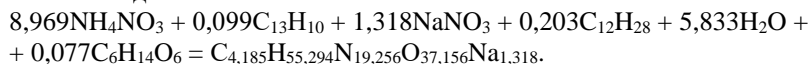
*Розрахункова величина КБ для ВР з різним хімічним складом дизельного палива*

Речовина	$C_{13}H_{10}$	$C_{13}H_{13}$	$C_{13}H_{17}$	$C_{13}H_{20}$	$C_{13}H_{23}$
КБ, %	+0,71	+0,56	+0,38	+0,24	+0,11

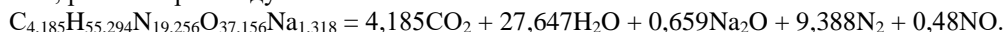
Отримані в результаті розрахунків величини КБ з позитивним знаком свідчать про те, що під час вибуху в атмосферу кар'єру виділятиметься NO.

Враховуючи умовний склад ВР1, а також молярні маси складових, визначено, що під час вибухового перетворення 1000 г ВР1 у реакції буде брати участь  $717,5/80 = 8,969$  моль/кг аміачної селітри,  $16,5/166 = 0,099$  моль/кг дизельного палива,  $112/85 = 1,318$  моль/кг натрієвої селітри,  $35/172 = 0,203$  моль/кг індустриального масла,  $105/18 = 5,833$  моль/кг води та  $14/182 = 0,077$  моль/кг емульгатора.

Отже, умовний склад 1 кг ВР1:

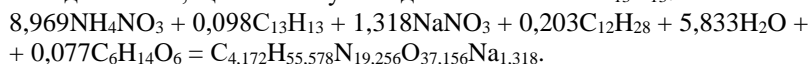


Таким чином, рівняння розкладу ВР1:

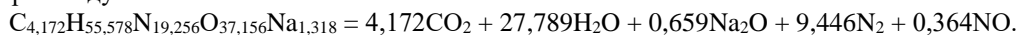


Як видно з реакції розкладу у продуктах вибуху міститься NO у кількості 0,48 моль, що становить 22,4 л/моль·0,48 моль = 10,752 л на 1 кг ВР. Кількість утворених під час вибуху газів за умови зміни хімічного складу дизельного палива у ВР розраховано на основі таких рівнянь.

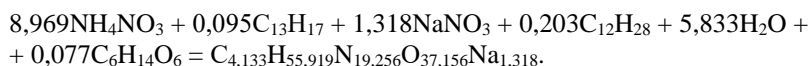
Умовний склад 1 кг ВР2, що містить у собі дизельне паливо  $C_{13}H_{13}$ :



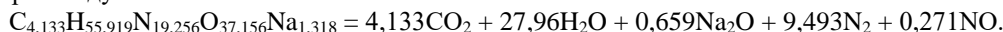
Рівняння розкладу ВР2:



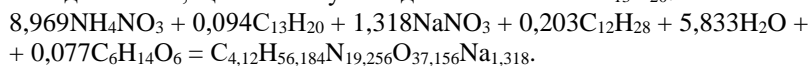
Умовний склад 1 кг ВР3, яка містить у своєму складі дизельне паливо  $C_{13}H_{17}$ :



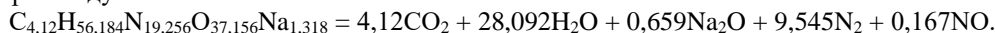
Рівняння розкладу ВР3:



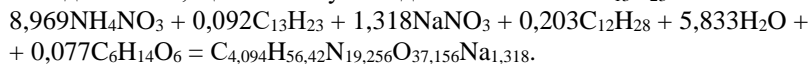
Умовний склад 1 кг ВР4, що містить у собі дизельне паливо  $\text{C}_{13}\text{H}_{20}$ :



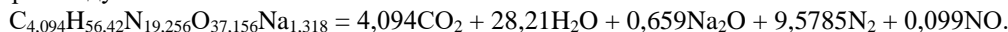
Рівняння розкладу ВР4:



Умовний склад 1 кг ВР5, що містить у собі дизельне паливо  $\text{C}_{13}\text{H}_{23}$ :



Рівняння розкладу ВР5:



На основі отриманих у результаті розрахунків значень кількості утворених газів для кожної речовини побудовано графік залежності кількості утвореного NO від хімічного складу дизельного палива у ВР (рис. 2). Аналіз рисунка 2 дозволив встановити таку закономірність: зміна хімічного складу ВР за рахунок зміни хімічного складу дизельного палива дає можливість змінити кількість утворених під час вибуху газів з 10,75 л NO на 1 кг ВР для дизельного палива  $\text{C}_{13}\text{H}_{10}$  до 2,22 л NO на 1 кг ВР для дизельного палива  $\text{C}_{13}\text{H}_{23}$ . Окрім того, варто зауважити, що кількість Карбон (IV) оксиду також змінюється зі зміною хімічного складу дизельного палива у ВР. Зокрема для 1 кг ВР із дизельним паливом  $\text{C}_{13}\text{H}_{10}$  кількість  $\text{CO}_2$  складала 93,74 л, а для 1 кг ВР із дизельним паливом  $\text{C}_{13}\text{H}_{23}$  – 91,71 л.

### Закономірність зміни кількості утвореного Нітроген (II) оксиду від хімічного складу ВР

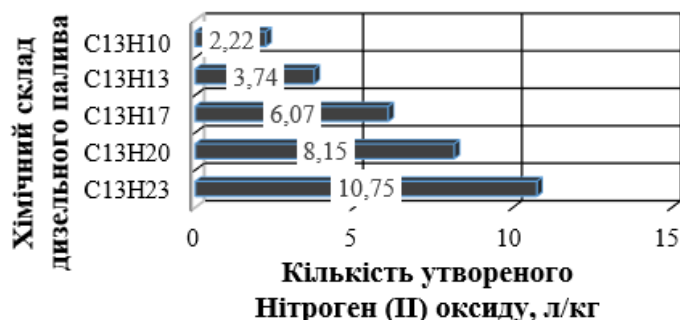


Рис. 2. Закономірність зміни кількості утвореного Нітроген (II) оксиду під час вибуху від хімічного складу дизельного палива у вибуховій речовині

Окрім зменшення негативного впливу на екосистему гірничовидобувного регіону, актуальним залишається питання економічної доцільності запропонованого рішення. Знаючи середнє значення питомої витрати ВР під час проведення масового вибуху, кількість проведених вибухів на рік, кількість утворених газів та ставки екологічного податку, можна розрахувати суму екологічного податку, яку має сплатити підприємство.

Значення питомої витрати ВР прийнято як  $1,03 \text{ кг/м}^3$ , а розрахунки наведено для Омелянівського кар'єру – потужної сировинної бази, що забезпечує потреби заводів ПБГ «Ковальська» необхідним об'ємом високоякісного кубовидного гранітного щебеню, виробника потужність якого складає  $750\,000 \text{ м}^3/\text{рік}$ . Враховуючи те, що на руйнування  $1 \text{ м}^3$  гірської маси необхідно витратити  $1,03 \text{ кг}$  ВР, обчислено, що витрати ВР на рік будуть становити  $772\,500 \text{ кг}$ .

Результати наведених вище розрахунків показали, що за умов використання  $1 \text{ кг}$  ВР, у складі якої міститься дизельне паливо  $\text{C}_{13}\text{H}_{10}$ , утворюється  $10,75 \text{ л}$  NO, таким чином, за умов використання  $772\,500 \text{ кг}$  цієї ВР за рік утвориться  $8\,304\,375 \text{ л}$ , або  $11,12 \text{ т}$  NO. За умов використання  $1 \text{ кг}$  ВР, у складі якої міститься дизельне паливо  $\text{C}_{13}\text{H}_{23}$ , утворюється  $2,22 \text{ л}$  NO, тому за умов використання  $772\,500 \text{ кг}$  такої ВР за рік утвориться  $1\,714\,950 \text{ л}$ , або  $2,29 \text{ т}$  NO. Аналогічні розрахунки проведено для Карбон (IV) оксиду.

Обсяги викидів Нітроген (II) оксиду та Карбон (IV) оксиду внаслідок детонації ВР, у складі якої міститься дизельне паливо  $\text{C}_{13}\text{H}_{10}$ , і ВР із дизельним паливом  $\text{C}_{13}\text{H}_{23}$ , а також ставки екологічного податку за забруднення атмосферного повітря наведено в таблиці 2.

Обсяги викидів Нітроген (II) оксиду та Карбон (IV) оксиду за умов використання ВР різного хімічного складу

Забруднююча речовина	Обсяг викидів за умов використання дизельного палива C <sub>13</sub> H <sub>10</sub> у складі ВР, т/рік	Обсяг викидів за умов використання дизельного палива C <sub>13</sub> H <sub>23</sub> у складі ВР, т/рік	Ставка екологічного податку, грн/т
Нітроген (II) оксид	11,12	2,29	2451,84
Карбон (IV) оксид	143,38	140,28	10

Сума екологічного податку, який справляється за викиди в атмосферне повітря в результаті вибуху ВР, у складі якої міститься C<sub>13</sub>H<sub>10</sub>:

$$П1 = 11,12 \cdot 2451,84 + 143,38 \cdot 10 = 28\,698,26 \text{ грн.}$$

Сума податку, який справляється за викиди в атмосферне повітря в результаті вибуху ВР, у складі якої міститься C<sub>13</sub>H<sub>23</sub>:

$$П2 = 2,29 \cdot 2451,84 + 140,28 \cdot 10 = 7\,017,51 \text{ грн.}$$

Після впровадження запропонованого рішення:

$$\Delta П = 28\,698,26 - 7\,017,51 = 21\,680,75 \text{ грн.}$$

Зміна хімічного складу ВР за рахунок зміни хімічного складу дизельного палива в діапазоні від C<sub>13</sub>H<sub>10</sub> до C<sub>13</sub>H<sub>23</sub> дозволить не лише зменшити кількість утворених у результаті вибуху шкідливих газів, але й знизити суму екологічного податку для підприємства на 21 680,75 грн на рік.

Для нейтралізації шкідливих газів, що залишаються після зміни хімічного складу дизельного палива у ВР, пропонується застосувати розроблену конструкцію забійки, яка передбачає двостадійну очистку від шкідливих газів, утворених у процесі вибухового руйнування скельних порід, і базується на хемосорбції газів негашеним вапном або відходами виробництва, які його включають, та фізико-хімічній сорбції (адсорбції) цеолітами. Необхідну кількість негашеного вапна можна розрахувати за отриманою залежністю [15], яка з урахуванням того, що близько 70 % NO перейде у NO<sub>2</sub> в результаті потрапляння в атмосферу, а CO відсутній, набуває вигляду:

$$m_{CaO} = m_{BP} \left[ 0,0021 V_{NO} \cdot 10^{-3} + \frac{V_{CO_2}}{396} \right], \quad (1)$$

де  $m_{BP}$  – річна маса ВР, кг;

$V$  – об'єм відповідного шкідливого газу з 1 кг ВР, л/кг.

Результати розрахунку показали, що річна витрата негашеного вапна для формування забійок свердловинних зарядів під час підготовки масових вибухів на Омелянівському кар'єрі буде становити 178,9 т. Згідно з експериментальними літературними даними [16] 1 г цеоліту (КА) поглинає (максимально) 0,35 г NO, або 0,26 л. Тому для поглинання річного об'єму NO (514 485 л), який не перейшов в NO<sub>2</sub>, необхідно 1,97 т цеоліту.

Запропоновані рішення дозволять зменшити кількість шкідливих газів, що утворюються під час вибухового руйнування скельних порід, більш ніж на 85 % порівняно з класичною технологією ведення підричних робіт.

**Висновки та перспективи подальших досліджень.** З метою зменшення кількості утворених у результаті вибуху шкідливих газів запропоновано, за можливості, коригувати хімічний склад вибухової речовини без зміни рецептури. Доведено, що зміна хімічного складу дизельного палива дає можливість наблизити величину кисневого балансу до нуля, зменшити кількість утворених під час вибухів шкідливих газів, і, відповідно, зменшити суму сплати екологічного податку. Для нейтралізації шкідливих газів, що залишаються після зміни хімічного складу дизельного палива у вибуховій речовині, запропоновано застосувати розроблену конструкцію забійки, яка передбачає двостадійну очистку від шкідливих газів, утворених у процесі вибухового руйнування скельних порід, і базується на хемосорбції газів негашеним вапном або відходами виробництва, які його містять, та фізико-хімічній сорбції (адсорбції) цеолітами. Запропоновані рішення дозволять зменшити кількість шкідливих газів, що утворюються під час вибухового руйнування скельних порід, більш ніж на 85 % порівняно з класичною технологією ведення підричних робіт.

#### Список використаної літератури:

1. Розробка і впровадження емульсійних вибухових речовин на кар'єрах України : монографія / В.П. Купрін та ін. – Дніпропетровськ : ДВНЗ УДХТУ, 2012. – 243 с.
2. Жученко Е.Н. Современные взрывчатые вещества и технологии их применения / Е.Н. Жученко, О.Н. Елизов // Записки Горного института. – 2005. – Т. 164. – С. 97–101.
3. Ефремов Э.И. Пути повышения эффективности взрывчатых веществ простейшего состава / Э.И. Ефремов // Вісник КТУ. – 2009. – Вип. 23. – С. 10–14.

4. Результати дослідження властивостей нових безтритилових сумішевих вибухових речовин з нульовим кисневим балансом / І.А. Лучко, А.В. Прокопенко, І.В. Косьмін, А.І. Лучко // Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія : Технічні науки. – 2004. – № 3 (30). – С. 149–153.
5. Ефремов Э.И. Пути повышения экономической эффективности и экологической безопасности взрывных работ на флюсовых карьерах / Э.И. Ефремов, А.В. Пономарев // Украинский союз инженеров-взрывников : информационный бюллетень. – 2010. – № 3. – С. 2–6.
6. Сытенков В.Н. Экологические аспекты при производстве массовых взрывов на карьерах / В.Н. Сытенков, С.К. Рубцов, И.П. Бибик // Горный вестник Узбекистана. – 2008. – № 2 (33). – С. 21–24.
7. Криворучко Н.И. Выполнение взрывных работ на горнодобывающих предприятиях Украины / Н.И. Криворучко // Проблемы недропользования. – 2014. – Вып. 2. – С. 39–45 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://cyberleninka.ru/article/v/vypolnenie-vzryvnyh-rabot-na-gornodobyvayuschih-predpriyatiyah-ukrainy>.
8. Шиман Л.Н. Развитие технологий водосодержащих взрывчатых веществ как фактор повышения эффективности взрывных работ / Л.Н. Шиман, Й.Г. Касперский, Е.Б. Устименко // Украинский союз инженеров-взрывников : информационный бюллетень. – 2013. – № 3 (20). – С. 14–21.
9. Комащенко В.И. Перспективы развития промышленных взрывчатых веществ и применения современных технологий взрывных работ с учетом экологической безопасности / В.И. Комащенко, Е.Д. Воробьев, В.А. Белин // Известия ТулГУ. Серія : Науки о Земле. – 2017. – Вып. 3. – С. 157–167.
10. Лучко І.А. Дослідження впливу вибуху нових промислових вибухових речовин на екологічний стан атмосфери кар'єру / І.А. Лучко, В.В. Твердий // Вісник НТУУ «КПІ». Серія : Гірництво. – 2009. – Вип. 18. – С. 110–116.
11. Твердий В.В. Результати дослідження впливу параметрів вибухів нових промислових вибухових речовин на екологічний стан кар'єру та прилеглої території / В.В. Твердий, І.А. Лучко // Вісник НТУУ «КПІ». Серія : Гірництво. – 2010. – Вип. 19. – С. 149–155.
12. Твердая О.Я. Обоснование критерия выбора безопасного и эффективного типа ВВ при массовых взрывах на карьерах / О.Я. Твердая, В.Д. Воробьев // Проблемы охраны праці в Україні. – 2012. – Вип. 22. – С. 56–64.
13. Твердий В.В., Лучко І.А. Визначення впливу підривних робіт на виробничий персонал кар'єра та населення прилеглої території при застосуванні нових сумішевих вибухових речовин / В.В. Твердий, І.А. Лучко // Проблемы охраны праці в Україні. – 2010. – Вип. 19. – С. 95–102.
14. Устименко Е.Б. Экологический мониторинг взрывных работ, проводимых с использованием ЭВВ марки «ЕРА» с продуктами переработки твердого ракетного топлива / Е.Б. Устименко, Л.Н. Шиман, Т.Ф. Холоденко // Вісник КДПУ імені Михайла Остроградського. – 2008. – Вип. 1 (48), Ч. 1. – С. 97–99.
15. Тверда О.Я. Розробка конструкції забійки свердловинного заряду із двоступеневою системою поглинання шкідливих газів / О.Я. Тверда, Л.Д. Пляцук // Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва. – 2018. – Вип. 1 (21). – С. 103–115.
16. Перспективи очистки викидних газів теплоенергетики на синтетичних цеолітах / С.О. Примиська, Ю.О. Безносик, Г.О. Статюха, В.П. Решетіловський // Вісник НТУ «ХПІ». – 2010. – № 10. – С. 70–77.

## References:

1. Kuprin, V.P. et al. (2012), *Rozrobka i vprovadzhennja emul'sijnyh vybuhovyh rečovyn na kar'jerah Ukraїny*, monografija, DVNZ UDHTU, Dnipropetrovs'k, 243 p.
2. Zhuchenko, E.N. and Elizov, O.N. (2005), «Sovremennye vzryvchatye veshhestva i tehnologii ih primeneniya», *Zapiski Gornogo instituta*, Vol. 164, pp. 97–101.
3. Efremov, Je.I. (2009), «Puti povysheniya jeffektivnosti vzryvchatyh veshhestv prostejshego sostava», *Visnyk KTU*, Issue 23, pp. 10–14.
4. Luchko, I.A., Prokopenko, A.V. and Kos'min, I.V. (2004), «Rezultaty doslidzhennja vlastyvošej novyh beztrotlyovyh sumishevyh vybuhovyh rečovyn z nul'ovym kysnevym balansom», *Visnyk Zhytomyrs'kogo derzhavnogo tehnologichnogo universytetu*, Serija *Tehnichni nauky*, No. 3 (30), pp. 149–153.
5. Efremov, Je.I. and Ponomarev, A.V. (2010), «Puti povysheniya jekonomicheskoi jeffektivnosti i jekologicheskoi bezopasnosti vzryvnyh rabot na fljusovyh kar'erah», *Ukrainskij sojuz inzhenerov-vzryvnikov*, informacionnyj bjulleten', No. 3, pp. 2–6.
6. Sytenkov, V.N., Rubcov, S.K. and Bibik, I.P. (2008), «Jekologicheskie aspekty pri proizvodstve massovyh vzryvov na kar'erah», *Gornyj vestnik Uzbekistana*, No. 2 (33), pp. 21–24.
7. Krivoruchko, N.I. (2014), «Vypolnenie vzryvnyh rabot na gornodobyvajushhijh predpriyatijah Ukrainy», *Problemy nedropol'zovanija*, Issue 2, pp. 39–45, [Online], available at: <https://cyberleninka.ru/article/v/vypolnenie-vzryvnyh-rabot-na-gornodobyvayuschih-predpriyatiyah-ukrainy>
8. Shiman, L.N., Kasperskij, J.G. and Ustimenko, E.B. (2013), «Razvitie tehnologij vodosoderzhashhijh vzryvchatyh veshhestv kak faktor povysheniya jeffektivnosti vzryvnyh rabot», *Ukrainskij sojuz inzhenerov-vzryvnikov*, informacionnyj bjulleten', No. 3 (20), pp. 14–21.
9. Komashhenko, V.I., Vorob'ev, E.D. and Belin, V.A. (2017), «Perspektivy razvitija promyshlennyh vzryvchatyh veshhestv i primeneniya sovremennyh tehnologij vzryvnyh rabot s uchetoj jekologicheskoi bezopasnosti», *Izvestija TulGU*, Serija *Nauki o Zemle*, Issue 3, pp. 157–167.
10. Luchko, I.A. and Tverdij, V.V. (2009), «Doslidzhennja vplyvu vybuhu novyh promyslovyh vybuhovyh rečovyn na ekolohichnij stan atmosfery kar'jeru», *Visnyk NTUU «KPI»*, Serija *Girnyctvo*, Issue 18, pp. 110–116.

11. Tverdij, V.V. and Luchko, I.A. (2010), «Rezultaty doslidzhennja vplyvu parametriv vybuhiv novyh promyslovyh vybuhovyh rehovyn na ekologichnyj stan kar'jeru ta prylegloi' terytorii'», *Visnyk NTUU «KPI»*, Serija *Girnyctvo*, Issue 19, pp. 149–155.
12. Tverdaya, O.Ja. and Vorob'ev, V.D. (2012), «Obosnovanie kriteriya vybora bezopasnogo i effektivnogo tipa VV pri massovykh vzryvakh na kar'erakh», *Problemy ohorony praci v Ukraini*, Issue 22, pp. 56–64.
13. Tverdij, V.V. and Luchko, I.A. (2010), «Vyznachennja vplyvu pidryvnyh robit na vyrobnychuj personal kar'jera ta naselelnja prylegloi' terytorii' pry zastosuvanni novyh sumishevyh vybuhovyh rehovyn», *Problemy ohorony praci v Ukraini*, Issue 19, pp. 95–102.
14. Ustimenko, E.B., Shiman, L.N. and Holodenko, T.F. (2008), «Ekologicheskii monitoring vzryvnykh robot, provodimykh s ispol'zovaniem EVV marki «ERA» s produktami pererabotki tverdogo raketnogo topliva», *Visnyk KDPU imeni Mihajla Ostrograds'kogo*, Issue 1 (48), Part 1, pp. 97–99.
15. Tverda, O.Ja. and Pljacuk, L.D. (2018), «Rozrobka konstrukcii' zabijky sverdlovynnogo zarjadu iz dvostupenevoju systemoju poglynnannja shkidlyvyh gaziv», *Suchasni resursoenergozberigajuchi tehnologii' girnychoho vyrobnyctva*, Issue 1 (21), pp. 103–115.
16. Prymys'ka, S.O., Beznosyk, Ju.O., Statjuha, G.O. and Reshetilovs'kyj, V.P. (2010), «Perspektyvy ochystky vykydnyh gaziv teploenergetyky na syntetychnyh ceolithah», *Visnyk NTU «HPI»*, No. 10, pp. 70–77.

**Тверда Оксана Ярославівна** – доктор технічних наук, доцент КПІ ім. Ігоря Сікорського.

Наукові інтереси:

– екологізація гірничого виробництва.

<http://orcid.org/0000-0003-3163-0972>.

**Ткачук Костянтин Костянтинович** – доктор технічних наук, професор КПІ ім. Ігоря Сікорського.

Наукові інтереси:

– розробка новітніх технологій видобування та переробки корисних копалин.

<http://orcid.org/0000-0001-5230-9980>.

Стаття надійшла до редакції 22.04.2020.