

## УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ БУРОПІДРИВНИХ РОБІТ ПРИ ЗАСТОСУВАННІ ВИБУХОВОЇ РЕЧОВИНИ «УКРАЇНІТ» НА ПІДЗЕМНИХ ГІРНИЧИХ РОБОТАХ

Ступнік М. І., Калініченко В. О., Римарчук Б. І., Письменний С. В., Федько М. Б., Калініченко О. В.

### 1. Вступ

На теперішній час на підземних гірничих роботах Криворізького залізорудного басейну (м. Кривий Ріг, Україна) видобуток корисних копалин здійснюється традиційними системами розробки з застосуванням буропідричних робіт [1, 2]. Подальша розробка родовищ корисних копалин на значних глибинах понад 1260–1350 м призводить до підвищення собівартості видобутку за рахунок питомих витрат: на транспортування та збагачення рудної маси; на буропідричні роботи [3, 4]. Руйнування гірського масиву здійснюється шляхом розбурювання віял глибоких свердловин довжиною 35–50 м, та їх одночасного підривання з уповільненням. Для розбурювання гірського масиву застосовують бурові станки НКР-100МПА або КБУ (Україна), які вимагають значного часу на буріння свердловин в очисному блоці. Це призводить до руйнування пробурених свердловин від загального обсягу згідно даних практики 10–15 %.

З метою зменшення втрат свердловин розбурювання та підривання масиву виконують в два або більше етапів, це призводить до збільшення часу на відпрацювання блоку та зменшення продуктивності праці по системі.

Вирішенням даної задачі можливо за рахунок зменшення об'ємів очисного блоку, застосування самохідного бурового обладнання та більш працездатних вибухових речовин.

Так, на відкритих гірничих роботах високі показники були досягненні при застосуванні емульсійної вибухової речовини (ВР) «Україніт ПП-1» (Україна). На підземних гірничих роботах при проходці виробок замість ВР «Аммоніт-БЖВ» (Україна) застосовують у вигляді патронів «Україніт ПП-1», що дозволило зменшити витрати на проходку виробок та підвищити якість подрібнення руди.

Однак, методика визначення параметрів буропідричних робіт при застосуванні на підземних гірничих роботах ВР «Україніт ПП-1» при масовому обваленні масиву відсутня. Тому удосконалення існуючої методики [5] по визначенню параметрів буропідричних робіт для емульсійної вибухової речовини «Україніт ПП-1» є актуальним питанням.

### 2. Об'єкт дослідження та його технологічний аудит

Об'єктом дослідження є гірський масив, який руйнується за допомогою вибухової речовини, розташованої в глибоких свердловинах. Одним з найбільш проблемних місць є забезпечення рівномірного подрібнення гірського масиву

при підземній розробці родовищ корисних копалин на значних глибинах.

При підземній розробці рудних покладів застосовують наступні способи відбійки руди: шпурова, свердловинна, мінними або концентрованими зарядами [6, 7]. Також існують і інші способи відбійки, які застосовуються при розробці вугільних та поліметалічних руд [8, 9]:

- підземними комбайнами і комплексами;
- відбійними молотками;
- самообвалення руди;
- гідравлічна відбійка;
- електрофізичні способи (струми високої частоти, ультразвук, лазер);
- ядерними вибухами;
- термічна відбійка.

При підземній розробці складноструктурних покладів Криворізького залізорудного басейну застосовуються системи поверхового чи підповерхового масового обвалення руди та налягаючих порід або системи з відкритим очисним простором та подальшим обваленням ціликів [10, 11]. В залежності від гірничо-геологічних умов на шахтах для даних систем розробки застосовують наступні схеми відбійки, основними з яких є: віялами глибоких свердловин, пучками глибоких свердловин та паралельними свердловинами. Також, відбійка може здійснюватися на вертикальний, горизонтальний та похилий компенсаційний простір, а також на «затиснуте середовище» [12, 13].

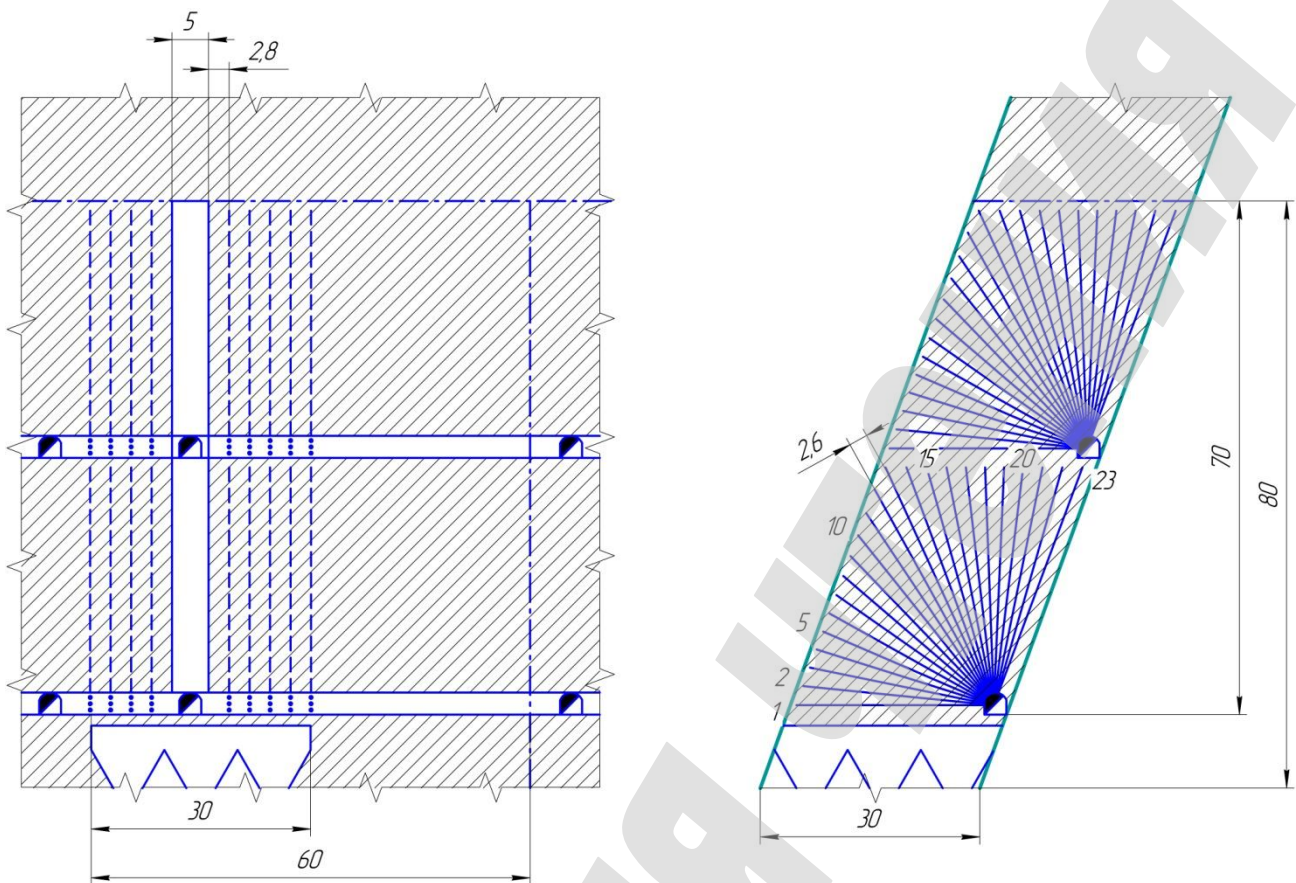
На більшості гірничодобувних підприємствах Криворізького басейну застосовують відбійку масиву вертикальними віялами глибоких свердловин на вертикальну компенсаційну камеру шириною 10–15 м, розташовану навхрест простягання родовища [14, 15]. В умовах прояву значного гірського тиску або в слабких нестійких породах відбійка здійснюється на відрізу щілину шириною 5–6 м та розбивкою поверху на два, три підповерхи (рис. 1).

Найбільш широке застосування знайшов спосіб відбійки руди вертикальними віялами глибоких свердловин на вертикальний компенсаційний простір (рис. 1). Дана схема відбійки при розробці залізорудних родовищ застосовується на 40–50 % від відомих.

Сутність даного варіанту полягає в наступному: в центрі блоку формують відрізу щілину, в лежачому боці проходять буровий штрек з площею поперечного перетину  $9 \text{ м}^2$ , з якого бурять вертикальні віяла висхідних свердловин.

*До переваг даного варіанту відбійки відносять:* менший обсяг бурових виробок; менша кількість перестановок бурового станка НКР-100МПА; додаткове подрібнення руди за рахунок зіткнення кусків руди при відбійці протилежних віял глибоких свердловин.

*Недоліки:* нерівномірність дроблення масиву (переподрібнення руди на початку свердловин і підвищений вихід негабариту на кінцях свердловин); підвищені витрати глибоких свердловин.



**Рис. 1.** Схема розбурювання гірського масиву вертикальними віями глибоких свердловин

Зменшити питомі витрати глибоких свердловин можливо за рахунок змінення параметрів свердловинної відбійки, до яких відносять:

- діаметр свердловини ( $d$ );
- найкоротша відстань від осі заряду до оголеної поверхні (лінія найменшого опору,  $W$ );
- відстань між кінцями свердловин ( $a$ );
- вихід руди з 1 м свердловини ( $\lambda$ );
- питомі витрати вибухової речовини ( $q$ ), які залежать від схем відбійки.

При цьому, вагомими параметрами, які впливають на якість відбійки є лінія найменшого опору (ЛНО) та відстань між кінцями глибоких свердловин, які залежать від діаметру свердловини, працездатності вибухової речовини, що застосовується.

Діаметр свердловини змінити неможливо, тому що верстат НКР-100МПА бурить свердловину тільки 105 мм. Тому, єдиним чинним фактором є зміна вибухової речовини, яка має вищу працездатність при мінімальній вартості. До такої можна віднести вибухову речовину «Україніт ПП-1».

Однак, застосування вибухової речовини «Україніт ПП-1» при масовому обваленні гірського масиву на підземних гірничих роботах за відсутністю методики по визначенню параметрів буропідричних робіт неминуче призведе до погіршення умов випуску та доставки. Це в свою чергу, не зменшить, а збільшить собівартість видобутку рудної маси.

Існуюча методика [5], розроблена для вибухової речовини «Грамоніт 79/21» не підходить для визначення параметрів при застосуванні емульсійної вибухової речовини «Україніт ПП-1», яка має інші показники вибуховості.

### **3. Мета та задачі дослідження**

*Метою дослідження є удосконалення методики буропідривних робіт за рахунок визначення лінії найменшого опору при застосуванні вибухової речовини «Україніт ПП-1» на підземних гірничих роботах.*

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі задачі:

1. Обґрунтувати значення лінії найменшого опору на підземних гірничих роботах при застосуванні емульсійної вибухової речовини.
2. Розробити схему відбійки гірського масиву при застосуванні емульсійної вибухової речовини «Україніт ПП-1».

### **4. Дослідження існуючих рішень проблеми**

Автори робіт [16, 17] зробили значний вклад у розвиток теорії руйнування гірського масиву шляхом розробки методики по визначенню параметрів буропідривних робіт. Але запропоновані схеми та способи відбійки, конструкції зарядів, способи підривання свердловин не враховують погіршення гірничо-геологічних умов з поглибленням підземних гірничих робіт.

В умовах Криворізького, Запорізького, Смолінського родовищ (Україна) широко застосовують свердловину відбійку. Існує велика кількість схем свердловинної відбійки, основними з яких є: паралельними свердловинами, пучками паралельно-зближених свердловин, віялами глибоких свердловин та пучками глибоких свердловин. Також відбійка може здійснюватися на вертикальний, горизонтальний та похилий компенсаційний простір, а також на «затиснуте середовище» [11, 18].

З приведеного аналізу видно, що більшість методик при визначенні величини ЛНО не враховують властивості вибухової речовини, або мають велику кількість коефіцієнтів, які необхідно уточнювати промисловими дослідженнями [19, 20].

На руднику Кіруна (Швеція) параметри буровибухових робіт визначаються та уточнюються в процесі підземної розробки промисловими вибухами по 2–3 віяла свердловин [21, 22]. Але недоліком даного способу є те, що неможливо масовим вибухом руйнувати очисний блок за рахунок застосування торцевого випуску. Таким чином, при відпрацюванні нестійких рудних тіл суттєво підвищиться собівартість видобутку руди за рахунок додаткових заходів на підтримання гірничих виробок.

Альтернативним варіантом відпрацювання руд є система розробки, яка впроваджена на руднику Кідд Крік (Канада). Дана система розробки після утворення камери передбачає її закладання. Це дозволяє зменшити тиск навколо очисних виробок, але в 2–3 рази збільшує собівартість видобутку, а також потребує контролю за гірськими масивами [23, 24].

Однак, у зв'язку з гірничо-геологічними та технологічними особливостями підземної розробки родовищ Криворізького залізорудного басейну, впровадження високопродуктивних технологій неминуче призведе до значного збіль-

шення собівартості видобутку.

## 5. Методи дослідження

Відомо багато методів розрахунків параметрів буропідричних робіт, в основі яких лежить принцип визначення необхідної енергії для руйнування визначеного об'єму масиву з конкретними фізико-механічними властивостями.

При відомих (прийнятим за даними практики в аналогічних умовах) питомих витратах вибухової речовини на відбійку –  $q$  (кг/м<sup>3</sup>), лінія найменшого опору визначається за формулою [1, 7]:

$$W = d \cdot \sqrt{\frac{7,85 \cdot \Delta \cdot k_3}{m \cdot q}}, \text{ м}, \quad (1)$$

де  $d$  – діаметр свердловин, м;

$\Delta$  – щільність заряджання ВР, г/см<sup>3</sup>;

$k_3$  – коефіцієнт заповнення свердловин ВР (його приймають у межах 0,75...0,95 при паралельному і 0,65...0,85 при віяловому розташуванні свердловин);

$m$  – показник зближення свердловинних зарядів.

На рудниках Гірської Шорії (Росія) величину лінії найменшого опору при паралельному розташуванні свердловин визначають за формулою [8, 16]:

$$W = \left( \frac{11 \cdot d \cdot b}{k_m} \right) \cdot \sqrt{\frac{3 \cdot a_k \cdot H}{f \cdot (0,39 - 0,3 \cdot a_k)}} + 1, \text{ м}, \quad (2)$$

де  $b$  – коефіцієнт відносної потужності ВР;

$k_m$  – коефіцієнт тріщинуватості масиву ( $k_m > 1$  при крупноблочній і  $k_m < 1$  при дрібноблочній структурі тріщин в масиві);

$a_k$  – розмір кондиційного куска, м;

$H$  – проектний вихід негабариту, %.

Науково-дослідний гірничорудний інститут Державного вищого навчального закладу «Криворізький національний університет» (Україна) рекомендує визначати лінію найменшого опору з урахуванням напрямку відбійки, типу вибухової речовини та його рівномірності розподілу в масиві за формулою [13, 18]:

$$W = 114 \cdot k_m \cdot d \cdot \sqrt{\frac{b \cdot \Delta}{f \cdot m \cdot \rho}}, \text{ м}, \quad (3)$$

де  $k_m$  – коефіцієнт, який враховує напрямок відбійки (при відбійці горизонтальними і вертикальними шарами та  $f < 10$   $k_m = 1,0$ , а при відбійці вертикальними шарами та  $f > 10$   $k_m = 0,9$ );

$\rho$  – коефіцієнт рівномірності розподілу вибухової речовини в масиві.

Для умов Криворізького залізорудного басейну параметри буропідричних робіт визначають по міцності гірських порід, застосовуючи показник вибухово-

сті порід та приведенного діаметру заряду по формулі [5, 16]:

$$W_f = k_n \cdot C_o \cdot d_{np}, \text{ м}, \quad (4)$$

де  $k_n=0,9-1,0$  – коефіцієнт неоднорідності масиву;

$C_o$  – показник вибуховості порід;

$d_{np}$  – приведений діаметр свердловини, м.

З урахуванням діючих в масиві напружень величина лінії найменшого опору визначають за формулою [20]:

$$W_\sigma = \frac{W_f}{\sqrt[3]{K_\sigma}}, \text{ м}, \quad (5)$$

де  $W_f$  – ЛНО, визначається за формулою (4);

$K_\sigma$  – коефіцієнт енергоємності відбійки напружених порід, який дорівнює відношенню питомих витрат вибухової речовини, які встановлені з урахуванням глибини гірничих робіт і розмірів очисного простору  $q_\sigma$  до питомих витрат ВР, які встановлені по міцності порід  $q_f$ .

## 6. Результати дослідження

Виконавши розрахунки лінії найменшого опору за формулою (4) побудовані залежності ЛНО від діаметру свердловини та коефіцієнту міцності порід за шкалою Протод'яконова М. М. (рис. 2).

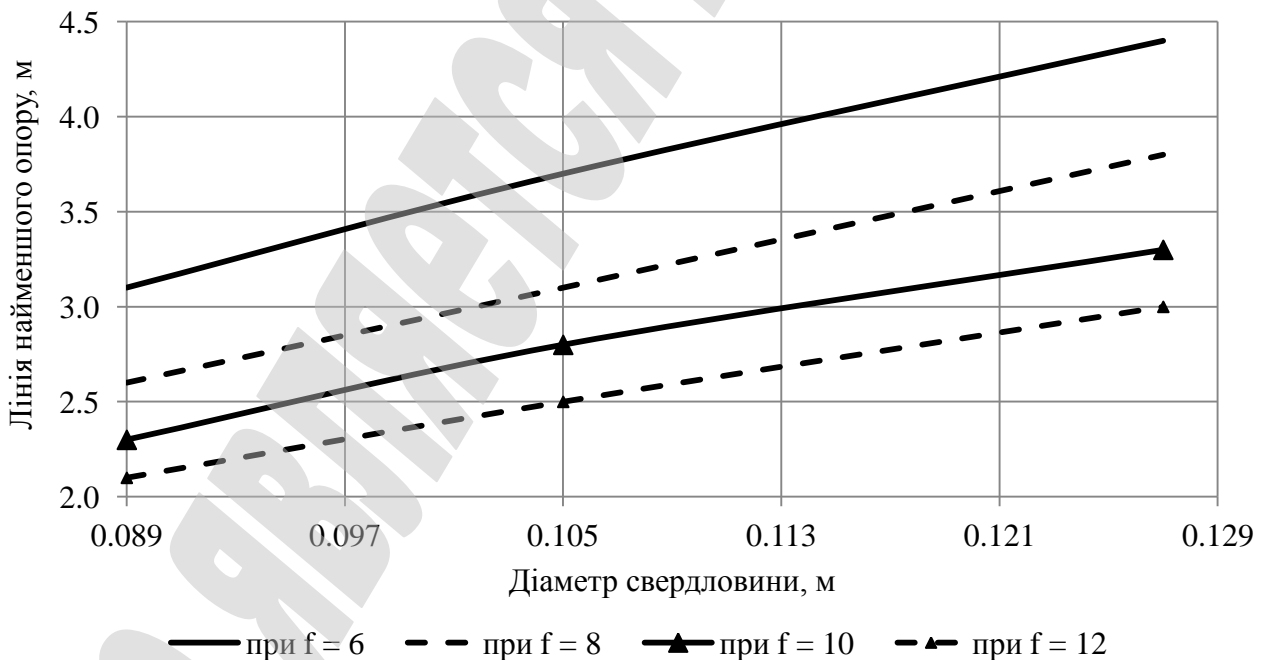


Рис. 2. Залежності лінії найменшого опору від діаметру свердловини та коефіцієнту міцності руди по [5]

З приведених залежностей видно, що зі збільшенням міцності руди лінія найменшого опору зменшується, що відповідає досвіду відпрацювання залізних руд Криворізького залізорудного басейну при застосуванні вибухової речовини «Грамонт-79/21».

Питомі витрати вибухової речовини визначаються за формулою:

$$q_f = \frac{2 \cdot k_3 \cdot U}{a \cdot W \cdot \gamma}, \text{ кг/т,} \quad (6)$$

де  $k_3=0,65 \dots 0,95$  – коефіцієнт заповнення свердловин вибуховою речовиною;

$U$  – місткість вибухової речовини у 1 м свердловини, кг;

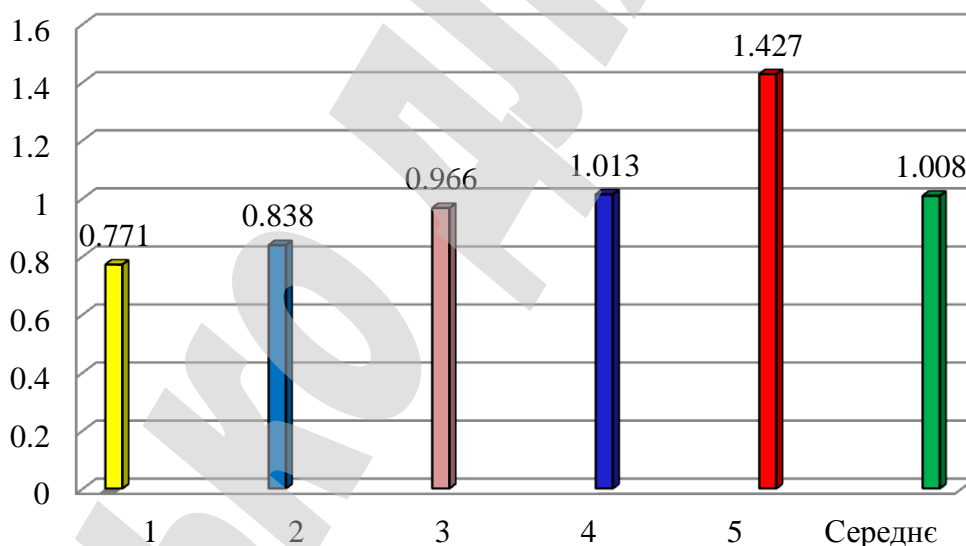
$a$  – відстань між кінцями свердловин, м;

$\gamma$  – об'ємна вага руди, т/м<sup>3</sup>.

Однак, все частіше гірничодобувні підприємства з підземним способом видобутку намагаються зменшити собівартість видобутку руди за рахунок різноманітних чинників. Одним з таких є впровадження у виробництво емульсійної вибухової речовини «Україніт ПП-1» [19, 25].

Дана вибухова речовина при впровадженні на відкритих гірничих роботах показала високі показники. За рахунок високої енергії вибуху були збільшені лінія найменшого опору та відстань між кінцями свердловин.

Показники питомих витрат від впровадження емульсійної вибухової речовини «Україніт ПП-1» приведені на рис. 3.



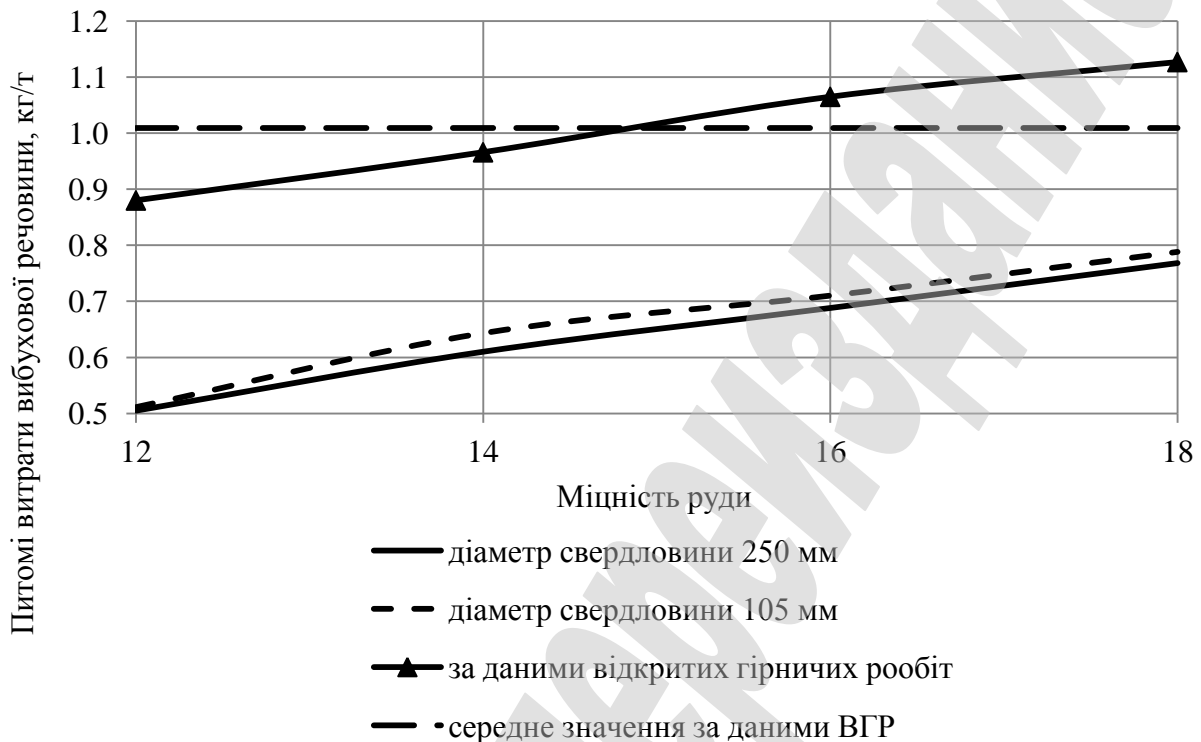
**Рис. 3.** Середні питомі витрати емульсійної вибухової речовини «Україніт ПП-1» по підприємствах м. Кривий Ріг (Україна) з відкритим способом видобутку

Криворізького залізорудного басейну: 1 – Приватне акціонерне товариство «Центральний гірничо-збагачувальний комбінат»; 2 – Приватне акціонерне товариство «Південний гірничо-збагачувальний комбінат»; 3 – Публічне акціонерне товариство «АрселорМіттал Кривий Ріг»; 4 – Приватне акціонерне товариство «Північний гірничо-збагачувальний комбінат»; 5 – Приватне акціонерне товариство «Інгулецький гірничо-збагачувальний комбінат»



З рис. 3 видно, що питомі витрати емульсійної вибухової речовини по підприємствах змінюються від 0,771 до 1,427 кг/т та в середньому складають 1,008.

Визначимо питомі витрати вибухової речовини за формулою (6) при діаметрі свердловин 250 мм. Результати розрахунків приведені на рис. 4.



**Рис. 4.** Залежності питомих витрат вибухової речовини на відбійку від коефіцієнту міцності руди та діаметру свердловини за методикою [5] і згідно промислових досліджень (рис. 3)

З рис. 4 видно, що за даними розрахунків по методиці [5] на питомі витрати вибухової речовини діаметр свердловини суттєво не впливає. При цьому, питомі витрати збільшуються з 0,5 до 0,8 кг/т, що на 0,4 кг/т менше, ніж при відбійці на відкритих гірничих роботах, тому методика буропідривних робіт [5] потребує удосконалення.

Враховуючи те, що при відбійці рудного масиву емульсійною вибуховою речовиною «Україніт ПП-1» питомі витрати значно менше, ніж при гранульованій вибуховій речовині. Тому необхідно враховувати в формулі (4) коефіцієнт працездатності емульсійної вибухової речовини, лінія найменшого опору визначається за виразом:

$$W_{EBP} = k_n \cdot C_o \cdot d_{np} \cdot K_{EBP}, \quad (7)$$

де  $K_{EBP}$  – коефіцієнт працездатності емульсійної вибухової речовини.

Коефіцієнт працездатності емульсійної вибухової речовини визначається за формулами:

– при  $q_f < q_{ВГР}$ :



$$K_{EBP} = \exp\left(\frac{0,314 \cdot q_f}{q_{BGP}}\right), \quad (8)$$

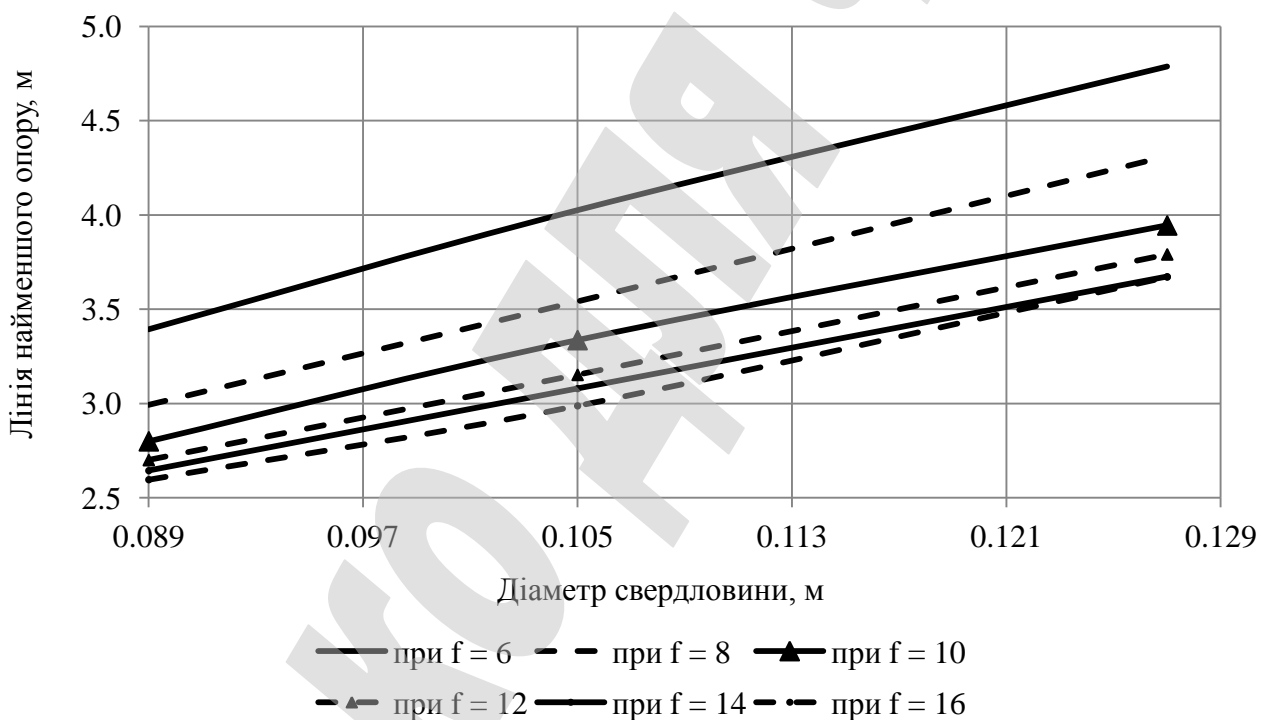
– при  $q_f > q_{BGP}$ :

$$K_{EBP} = \exp\left(\frac{0,314 \cdot q_{BGP}}{q_f}\right), \quad (9)$$

де  $q_f$  – питомі витрати ВР визначаються за формулою (6), кг/т;

$q_{BGP}$  – питомі витрати ВР, кг/т (приймаються згідно даних практики відкритих гірничих робіт (рис. 3), або приймається 1,008.

Виконавши розрахунки за формулою (7) з урахуванням (8) або (9) побудовані залежності лінії найменшого опору від діаметру свердловини та коефіцієнту міцності руди (рис. 5).

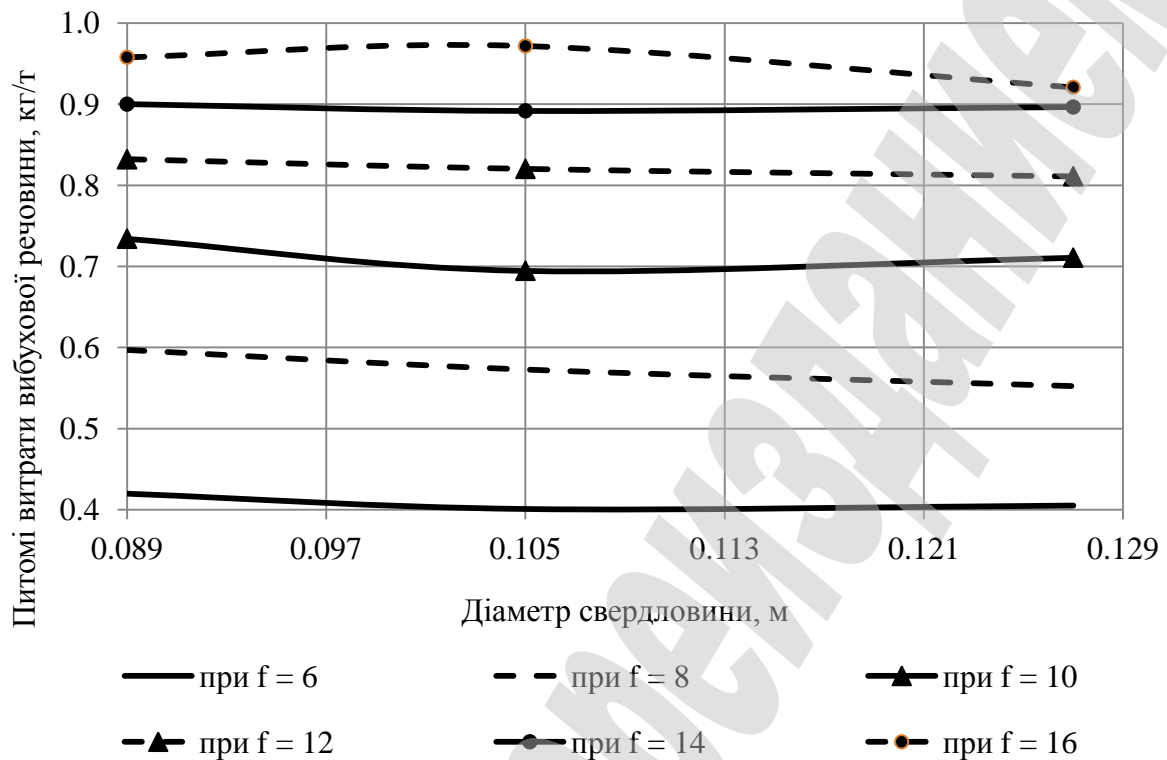


**Рис. 5.** Залежності лінії найменшого опору (ЛНО) від діаметру свердловини та коефіцієнту міцності руди (за удосконаленою методикою)

З графіків, приведених на рис. 5, видно, що значення лінії найменшого опору зі збільшенням міцності порід зменшується, а зі збільшенням діаметра свердловини, збільшуються. Порівнюючи залежності приведені на рис. 2 та рис. 5 видно, що при застосуванні емульсійної вибухової речовини «Україніт ПП-1» лінія найменшого опору збільшується на 0,3–0,5 м при діаметрі свердловини 105 мм.

При цьому, питомі витрати вибухової речовини від діаметра свердловини та

коефіцієнта міцності порід за шкалою Протод'яконова М. М. приведені на рис. 6.

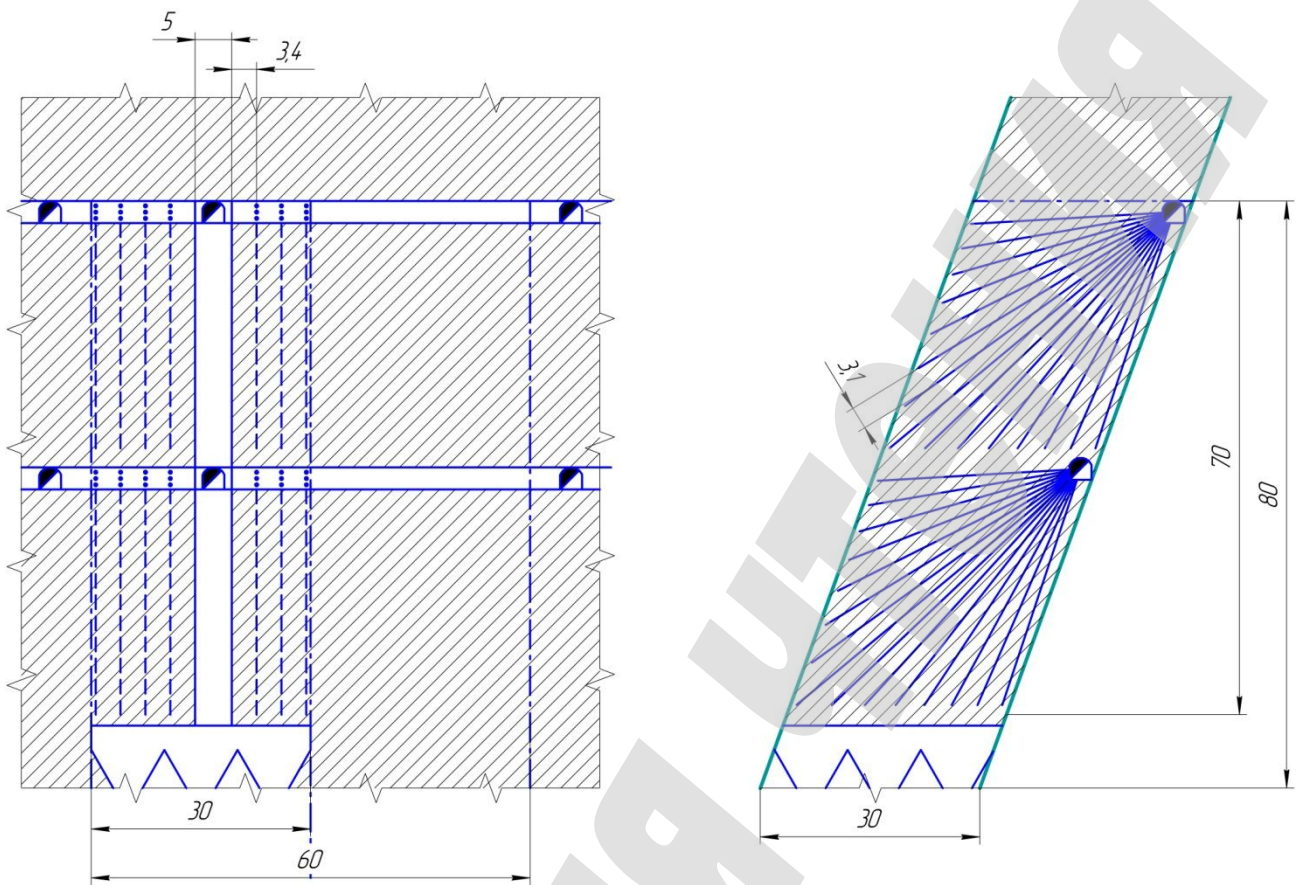


**Рис. 6.** Залежності питомих витрат вибухової речовини на відбійку від діаметру свердловини та коефіцієнту міцності руди (за удосконаленою методикою)

Для умов ш. «Тернівська» Публічного акціонерного товариства «Криворізький залізорудний комбінат» (Україна):  $L_{\text{бл}} - 60$  м;  $M_z - 30$  м;  $\alpha - 70^\circ$ ;  $f_p - 9-11$  (середньої стійкості);  $f_{\text{в/б}} - 12-14$  (середньої стійкості);  $f_{\text{л/б}} - 7-9$ ;  $f_{\text{в/б}} - 12-14$  (середньої стійкості);  $\gamma_p - 3,6$  т/м<sup>3</sup>;  $Fe_p - 61,4$  %,  $Fe_n - 37,5$  %, виконані розрахунки параметрів буропідричних робіт.

Висоту блока приймаємо з практичного досвіду – 80 м, у блоці під поверхи по 35 м. Система розробки підповерхово-камерного обвалення руд і вміщуючих порід із відбійкою глибокими свердловинами на вертикальний компенсаційний простір приведена на рис. 7.

Параметри буропідричних робіт розраховуємо за удосконаленою методикою без урахування напружено-деформованого стану гірського масиву. Згідно з міцнісними характеристиками масиву та коефіцієнту працездатності емульсійної вибухової речовини «Україніт ПП-1», лінія найменшого опору дорівнює 3,4 м, відстань між кінцями свердловин 3,1 м, та радіусами недозаряду навколо бурового штреку  $W=3,4$  м та  $1,5 \cdot W=5,1$  м.



**Рис. 7.** Схема розбурювання масиву низхідними віями глибоких свердловин з параметрами буропідричних робіт, визначених за удосконаленою методикою

Результати виконаних розрахунків буропідричних робіт при застосуванні методики [5] для ВР «Грамоніт 79/21» і «Україніт ПП-1» та удосконаленої методики при застосуванні емульсійної вибухової речовини «Україніт ПП-1» приведені в табл. 1.

**Таблиця 1**

Основні техніко-економічні показники

№ п\п	Найменування показників	Показники при застосуванні ВР	
		«Грамоніт 79/21»/ «Україніт ПП-1»* (рис. 1)	«Україніт ПП-1» (рис. 7)
1	2	3	4
1	Балансовий запас руди в блоці, т	189000	189000
2	Лінія найменшого опору, м	2,8	3,4
3	Відстань між кінцями свердловин, м	2,6	3,1
4	Сумарна довжини свердловин, м	11952	7639,8
5	Загальна кількість ВР, кг	76869	49409,8
6	Вихід руди з 1 м свердловини, т	15,8	24,7
7	Питомі витрати ВР, кг/т	0,41	0,26
8	Питомі витрати електродетонаторів, шт/тис. т	0,54	0,35
9	Питомі витрати детонуючого шнура, м/т	0,14	0,09
10	Питомі витрати підривного дроту, м/т	0,011	0,011
11	Діаметр середнього куска, м	0,26	0,31

**Продовження таблиці 1**

1	2	3	4
12	Вихід негабаритних фракцій, %	14,6 / 7,4	15,06
13	Продуктивність праці на відбійці, т/зм	628,8	835,5
14	Час на буріння глибоких свердловин, зм	1261,4	806,3
15	Вартість вибухової речовини: – грамоніт 79/21 – україніт ПП-1	1808683,2 1085209,92	– 697549
16	Заробітна платня бурильника, у. о.	12614	8063
17	Заробітна платня заряджальника та підричника, у. о.	2110	1356
18	Інші матеріали та обладнання, у. о.	75013/76346	81677
19	Собівартість на буріння та підривання, у. о./т	0,79/0,67	0,60

**Примітка:** \* – при розрахунку параметрів буропідривних робіт за методикою [5]

Встановлено, що при застосуванні емульсійної вибухової речовини «Україніт ПП-1» на підземних гірничих роботах з параметрами буропідривних робіт [5], призведе до переподрібнення руди. Це знизить продуктивність праці на доставці, особливо в обводнених блоках.

### 7. SWOT-аналіз результатів досліджень

*Strengths.* Удосконалення методики буропідривних робіт шляхом застосування коефіцієнта працездатності емульсійної вибухової речовини дозволить збільшити лінію найменшого опору та відстань між кінцями свердловин. Слід зауважити, що питомі витрати емульсійної вибухової речовини «Україніт ПП-1» будуть рівними як і при застосуванні ВР «Грамоніт 79/21» при однаковому виході негабариту.

*Weaknesses.* Застосування емульсійної вибухової речовини «Україніт ПП-1» на підземних гірничих роботах неминуче призведе до наступних негативних наслідків:

- збільшення енерговитрат та трудових ресурсів при бурінні низхідних глибоких свердловин станком НКР-100МПА;
- збільшення трудових ресурсів та кількості електродетонаторів, які необхідно розташувати у свердловинах.

*Opportunities.* За результатами виконаних розрахунків, орієнтовний економічний ефект від застосування вибухової речовини «Україніт ПП-1» складатиме 0,12 у. о./т у порівнянні з «Грамоніт 79/21», або 126 у. о. до блоку, що розраховувався. При річній продуктивності шахти 2,4 млн. т/рік річний економічний ефект складатиме 203333 у. о.

Орієнтовний питомий економічний ефект від впровадження удосконаленої методики буропідривних робіт у виробництво для вибухової речовини «Україніт ПП-1» складатиме 0,6 у. о./т, а річний 1,44 млн. у. о.

Слід зауважити, що емульсійна вибухова речовина «Україніт ПП-1» у порівнянні з західними аналогами значно дешевше при однакових технічних характеристиках.

*Threats.* При застосуванні емульсійної вибухової речовини на підземних гірничих роботах в сильно тріщинуватому масиві існує ймовірність її розтікання по тріщинах, що призведе до перенасичення масиву вибуховою речовиною. Це призведе до підвищення собівартості видобутку руди на 5–20 %.

## 8. Висновки

1. В результаті досліджень встановлено, що при застосуванні емульсійної вибухової речовини «Україні ПП-1» на підземних гірничих роботах, лінія найменшого опору збільшується в 1,1–1,4 рази у порівнянні з вибуховою речовиною «Грамоніт 79/21».

2. Розроблена схема відбійки гірського масиву низхідними віялами глибоких свердловин, яка дозволяє можливість застосування емульсійної вибухової речовини «Україніт ПП-1» та отримати розрахунковий економічний ефект в розмірі 0,6 у. о./т.

## Література

1. Агошков М. И., Борисов С. С., Боярский В. А. Разработка рудных и нерудных месторождений: учеб. М.: Недра, 1983. 3-е изд., перераб. и доп. 424 с.

2. Ступник Н. И., Письменный С. В. Перспективные технологические варианты дальнейшей отработки железорудных месторождений системами с массовым обрушением руды // Вісник Криворізького національного університету. 2012. Вип. 30. С. 3–7.

3. Комплексная разработка рудных месторождений / Черных А. Д. и др. // К.: Техніка, 2005. 376 с.

4. Технология подземной разработки пластовых месторождений полезных ископаемых: учеб. для вузов / Бондаренко В. И. и др. Дніпро: РИК НГУ, 2002. 730 с.

5. Капленко Ю. П. Инструкция по выбору параметров БВР при отбойке руды глубокими скважинами. Кривой Рог: КГРИ, 1977. 28 с.

6. Борисенко С. Г. Технология подземной разработки рудных месторождений. К.: Вища школа. Головное изд-во, 1987. 262 с.

7. Бизов В. Ф., Корж В. А. Підземні гірничі роботи. Т. XII: підручник. Кривий Ріг: Мінерал, 2003. 286 с.

8. Именитов В. Р. Процессы подземных горных работ при разработке рудных месторождений. М.: Недра, 1984. 528 с.

9. Основные расчеты систем разработки рудных месторождений / Малахов Г. М. и др. М.: Недра, 1968. 273 с.

10. Обоснование параметров очистной камеры параболической формы при отработке железных руд в неустойчивых породах / Ступник Н. И. и др. // Гірничий вісник. 2016. Вип. 101. С. 7–12.

11. Stupnik N., Kalinichenko V., Pismennyi S. Pillars sizing at magnetite quartzites room-work // Mining of Mineral Deposite. A Balkema Book, 2013. P. 11–15. doi: <http://doi.org/10.1201/b16354-4>

12. Хоменко О. Е., Кононенко М. Н., Зубко С. А. Процессы при подземной разработке рудных месторождений. Дніпро: НГУ, 2015. 202 с.

13. Чернокур В. Р., Шкребко Г. С., Шелегеда В. И. Добыча руды с поэтажным обрушением. М.: Недра, 1992. 271 с.

14. Ступнік М. І., Письменный С. В. Комбіновані способи подальшої розробки залізорудних родовищ Криворізького басейну // Гірничий вісник. 2012. Вип. 95 (1). С. 3–7.

15. Хоменко О. Е. Усовершенствование технологии добычи железных руд из охранных целиков: монография. Дніпро: НГУ, 2007. 99 с.
16. Бизов В. Ф., Федоренко П. И. Вибухові роботи. Т. X. Бібліотека гірничого інженера. Кривий Ріг: Мінерал, 2001. 225 с.
17. Андреев К. К., Беляев А. Ф. Теория взрывчатых веществ. М.: Оборонгиз, 1960. 596 с.
18. Цариковский В. В., Григорьев А. П. Перспективы применения различных систем разработки при подземной добыче руд в Кривбассе // Разработка рудных месторождений. 2004. № 85. С. 164–167.
19. Ткачук К. Н., Федоренко П. И. Взрывные работы в горно-рудной промышленности. К.: Вища школа, 1990. 295 с.
20. Капленко Ю. П., Колосов В. А., Швагер Н. Ю. Инструктивно-методические указания по выбору параметров буровзрывных работ (БВР) при подземной добыче руд. Ч. I. Выбор параметров БВР при проведении выработок. Кривой Рог: Минерал, 2007. 193 с.
21. Dineva S., Boskovic M. Evolution of seismicity at Kiruna Mine / ed. by Wesseloo J. // Proceedings of the Eighth International Conference on Deep and High Stress Mining. Australian Centre for Geomechanics. Perth, 2017. P. 125–139.
22. Biruk Y. Investigation of Rock-fall and Support Damage Induced by Seismic Motion at Kiirunavaara Mine: Master's thesis. Mwalanyani Hannington, 2010. P. 74.
23. Development of the method of quasi-optimal robust control for periodic operational processes / Lutsenko I. et. al. // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2017. Vol. 4, Issue 2 (88). P. 52–60. doi: <http://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.107542>
24. Development of a method for the accelerated two-stage search for an optimal control trajectory in periodical processes / Lutsenko I. et. al. // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2017. Vol. 3, Issue 2 (87). P. 47–55. doi: <http://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.103731>
25. Удосконалення методики визначення параметрів буровибухових робіт з урахуванням напружено-деформованого стану масиву при його обваленні на похиле оголення / Ступник М. І. та ін. // Гірничий вісник. 2017. Вип. 102. С. 47–53.