

УДК 622.062:622.235.11

<https://doi.org/10.37101/ftpgp23.01.004>

## ПАРАМЕТРИ БУРОПІДРИВНИХ РОБІТ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ГІРНИЧИХ ВИРОБОК

М.М. Кононенко<sup>1\*</sup>, О.Є. Хоменко<sup>1</sup>, Є.О. Коробка<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна

<sup>2</sup>ПрАТ «Запорізький залізорудний комбінат», м. Дніпрорудне, Україна

\*Відповідальний автор: e-mail: kmn211179@gmail.com

## PARAMETERS OF DRILLING-AND-BLASTING OPERATIONS FOR MINE WORKINGS CONSTRUCTION

M.M. Kononenko<sup>1\*</sup>, O.Ye. Khomenko<sup>1</sup>, Ye.O. Korobka<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

<sup>2</sup>PJSC “Zaporizkyi Iron-Ore Plant”, Dniprorudne, Ukraine

\*Corresponding author: e-mail: kmn211179@gmail.com

### ABSTRACT

**Purpose.** Development of a method for calculating the parameters of blasting works for mining, considering the physical and mechanical properties of rocks, energy characteristics of explosives (explosives), crack-mass of the massif and the action of rock pressure.

**Methods.** The paper uses a comprehensive methodological approach, which includes the development of methods for determining the parameters of the blasting works, considering the physical and mechanical properties of rocks and energy characteristics of explosives, fracture of the array and the action of rock pressure.

**Findings.** A new method of calculating the rational parameters of the blasting works during the preparatory workings was developed, which laid down the principle of placing groups of holes on the areas they occupy in the bottom of the workings and the location of holes on the jack contours.

**Originality.** The parameters of the location of boreholes in the bottom of the mine are realized according to the degree of change of the line of least resistance depending on the diameter of the borehole, physical and mechanical properties of the rock mass, energy characteristics of explosives and rock pressure.

**Practical implications.** The use of a new method of calculating the rational parameters of the blasting works for workings allows to save resources when performing tunneling work up to 18%.

**Keywords:** blast-hole, explosive, drilling and blasting works, intensive crushing zone, line of least strength

## 1. ВСТУП

На сьогодні однією з основних проблем гірничого виробництва є руйнування масиву гірничих порід за допомогою енергії вибуху. В залежності від того, наскільки вірно будуть розраховані параметри БПР можуть змінюватися техніко-економічні показники проведення гірничих виробок [1]. При проведенні горизонтальних і похилих виробок до БПР висувають основні вимоги, які пов'язані із забезпеченням необхідного подрібнення породи та дотримання проектного контуру виробки після вибуху. Ще одним напрямом вдосконалення технології ведення БПР, є підвищення безпеки вибухових робіт і зниження їх впливу на довкілля за рахунок заміщення тротиловмісних ВР емульсійними вибуховими речовинами (ЕВР) вітчизняного виробництва, що є абсолютно безпечні у транспортуванні й зберіганні [2, 3], екологічно чисті [4-9] та економічно вигідні [10, 11].

Основним етапом розрахунку параметрів БПР є визначення кількості шпурів для вибою виробки, а також розробка раціональної схеми їх розташування. Основним критерієм, яким користуються дотепер, є кількість шпурів для вибою, яка прямо пропорційна кількості вибухової речовини (ВР), що необхідно для руйнування заданого об'єму породи.

Теоретичні основи руйнування гірничих порід вибухом при проведенні гірничих виробок широко висвітлені у дослідженнях Протод'яконова М.М., Покровського М.М., Мінделі Е.О., Суханова А.Ф., Барона Л.І., та ін [12-16]. Аналіз цих досліджень дозволив встановити, що на сьогодні практично відсутня методика з визначення параметрів БПР при проведенні гірничих виробок, яка б враховувала необхідні фактори, що впливають на результати вибухового руйнування, а особливо фізико-механічні властивості масиву порід та енергетичні характеристики ВР [17-19].

## 2. ВИЗНАЧЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ВР

Використання різних типів ВР при проведенні гірничих виробок і відбиванні руд з різними енергетичними характеристиками обумовлює необхідність визначення коефіцієнту працездатності, щодо еталонної вибухівки, якою є Амніт № 6 ЖВ [20, 21]. Але у відомих методиках коефіцієнт працездатності визначається за комбінацією різних показників характеристик ВР, що дає значні розбіжності у результатах розрахунку, а для ЕВР взагалі є заниженими [22-25]. У зв'язку з цим коефіцієнт працездатності для промислових ВР пропонується визначати з урахуванням ступеня реалізації швидкості детонації, що дозволяє врахувати енергетичні та детонаційні характеристики ВР, такі як, теплота та об'єм газів вибуху, щільність і швидкість детонації вибухівки [26].

Розрахунок коефіцієнту працездатності промислових ВР пропонується виконувати за новою методикою, яка представлена у наступній послідовності визначення параметрів вибухівки:

- ідеальна швидкість детонації;
- ступень реалізації швидкості детонації;
- теплота вибуху за ступенем реалізації швидкості детонації;

– коефіцієнт працездатності за ступенем реалізації швидкості детонації (за завершеністю хімічної реакції).

Ідеальна швидкість детонації

$$D_i = 2641 + 3,231 \cdot \rho \cdot \sqrt{\omega}, \text{ м/с}, \quad (1)$$

де  $\rho$  – щільність (густина для наливних ЕВР) ВР, г/см<sup>3</sup>;  $\omega$  – характеристичний добуток теплоти вибуху на об'єм продуктів вибуху для оцінки ефективності ВР (Бертло М., 1883).

$$\omega = Q_{BP} \cdot V_{ПВ}, \quad (2)$$

де  $Q_{BP}$  – теплота вибуху ВР, ккал/кг, визначається діленням значення  $Q_{BP}$  в кДж/кг на коефіцієнт 4,19 (механічний еквівалент теплової енергії);  $V_{ПВ}$  – об'єм продуктів вибуху, л/кг.

Ступінь реалізації швидкості детонації (завершеність хімічної реакції)

$$\eta_x = \frac{D_e}{D_i} \cdot 100, \%, \quad (3)$$

де  $D_e$  – експериментальна швидкість детонації, м/с.

Теплота вибуху з урахуванням ступеня реалізації швидкості детонації

$$Q = \frac{Q_{BP} \cdot \eta_x}{100}, \text{ кДж/кг}, \quad (4)$$

де  $Q_{BP}$  – теплота вибуху 1 кг ВР, кДж/кг.

Коефіцієнт відносної працездатності ВР

$$e = \frac{Q_E}{Q_{BP}}, \quad (5)$$

де  $Q_E$  – теплота вибуху 1 кг еталонної ВР (Амоніт № 6 ЖВ) з урахуванням ступеня реалізації швидкості детонації, кДж/кг;  $Q_{BP}$  – теплота вибуху 1 кг прийнятої ВР з урахуванням ступеня реалізації швидкості детонації, кДж/кг.

### 3. ПАРАМЕТРИ ПРЯМИХ ВРУБІВ

Важливою умовою високої ефективності проведення гірничих виробок є правильний добір комплексу шпурів, що забезпечують максимальний коефіцієнт їх використання та впливає на швидкість проведення виробки. Рациональні параметри БПР, такі, як тип врубу, схема розташування та кількість шпурів, тип ВР і величина заряду, залежать від конкретних гірничо-геологічних умов. У сучасній практиці підземного рудо-видобування широко використання набули вруби, які класифікуються за розташуванням врубових шпурів

відносно площини вибою на похилі вруби (відривної дії) та прямі вруби (подрібнювальної дії). Огляд досвіду виконання БПР при проведенні підготовчих і нарізних виробок на шахтах Криворізького басейну та Приватного акціонерного товариства «Запорізький залізорудний комбінат» (ПрАТ «ЗЗРК») дозволив встановити, що для утворення врубової порожнини використовуються прямі призматичні вруби з компенсаційними шпурами або без них. Ці вруби характеризуються високою простотою, універсальністю, працездатністю та стабільністю роботи. Похилий вертикально-клиновий вруб використовують рідше. Це пов'язано з обмеженою можливістю буріння похилих шпурів за допомогою самохідних бурильних установок, оскільки їх глибина залежить від поперечних розмірів виробок.

Розрахунок прямих врубів пропонується виконувати у наступній послідовності.

Згідно робіт [27, 28] пробивну відстань між шпурами прямого врубу, пропонується визначати за величиною радіусу зони зминання

$$R_{zm} = 0,5 \cdot d \cdot \sqrt{1 + \frac{\rho \cdot D^2}{2 \cdot K_y \cdot K_c \cdot \sigma_{cm}}}, \text{ м}, \quad (6)$$

де  $d$  – діаметр шпуру, м;  $\rho$  – щільність заряджання ВР або густина наливної ЕВР [29];  $\sigma_{cm}$  – межа міцності порід на стискання, Па;  $D$  – швидкість детонації ВР, м/с;  $K_c$  – коефіцієнт структурного послаблення масиву, який можна розрахувати за формулами, що подано у роботі [27];  $K_y$  – коефіцієнт ущільнення гірничих порід під впливом гравітаційних сил [30, 31]

$$K_y = \frac{\gamma + 0,1 \cdot H}{\gamma}, \quad (7)$$

де  $H$  – глибина гірничих робіт, м;  $\gamma$  – щільність породи або руди, кг/м<sup>3</sup>.

Мінімальна площа прямого врубу

$$S_{ep} = 0,45 \cdot (l_{ш} \cdot \eta)^{0,91}, \text{ м}^2, \quad (8)$$

де  $l_{ш}$  – довжина комплекту шпурів, м;  $\eta$  – коефіцієнт використання шпурів, який змінюється у межах 0,85–0,95.

Мінімальна кількість шпурів у врубі, без урахування компенсаційних (холостих)

$$N_{ep} = \frac{S_{ep}}{\pi \cdot R_{zm}^2}, \text{ шт.} \quad (9)$$

Після розрахунку та прийняття врубу переходять до розрахунку кількості шпурів, розміщення їх у вибою виробки та загальних витрат ВР на вибій.

#### 4. МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ПАРАМЕТРІВ БПР

При підземній розробці залізних руд в умовах шахт ПрАТ «ЗЗРК» найбільшого поширення набула прямокутно-склепінчаста форма виробок, а на шахтах Криворізького басейну – аркова форма поперечного перерізу гірничих виробок. Тому нову методику розрахунку параметрів БПР при проведенні горизонтальних і похилих гірничих виробок буде розроблено для цих двох форм виробок.

В основу нової методики розрахунку параметрів БПР при проведенні горизонтальних і похилих гірничих виробок, було закладено принцип розміщення груп шпурів за площами, які вони займають у вибою виробки та розташування їх за відбійними контурами [32]. Порядок розрахунку параметрів БПР за новою методикою буде складатися з виконання наступних основних етапів. Перший етап включає в себе розрахунок і проектування врубу, а другий – безпосередньо розрахунок кількості шпурів, розміщення їх у вибою виробки та загальні витрати ВР на вибій [26, 33].

Площа виробки у проходці:

– для виробок прямокутно-склепінчастої форми

$$S_{np} = B_{np} \cdot \left( H_{np} - \frac{B_{np}}{3} + 0,26 \cdot B_{np} \right), \text{ м}^2; \quad (10)$$

– для виробок аркової форми

$$S_{np} = B_{np} \cdot (H_{np} - 0,5 \cdot B_{np}) + 0,125 \cdot \pi \cdot B_{np}^2, \text{ м}^2, \quad (11)$$

де  $B_{np}$  – ширина виробки у проходці, м;  $H_{np}$  – висота виробки у проходці, м.

Розрахункові питомі витрати ВР визначаються за найбільш універсальною формулою Покровського М.М. [12, 19]

$$q = 0,01 \cdot \sigma_{cm} \cdot f_c \cdot k_{зам} \cdot e, \text{ кг/м}^3, \quad (12)$$

де  $\sigma_{cm}$  – межа міцності порід на стискання, МПа;  $f_c$  – коефіцієнт, що враховує структуру породи та змінюється у межах 0,8–2,0;  $e$  – коефіцієнт відносної працездатності ВР;  $k$  – коефіцієнт затиску породи, при двох поверхнях відслонення, який змінюється у межах 1,2–1,5 при одній поверхні відслонення

$$k = \frac{6,5}{\sqrt{S_{np}}}. \quad (13)$$

Об'єм висадженої породи у масиві

$$V = S_{np} \cdot l_{ш}, \text{ м}^3. \quad (14)$$

Розрахункова кількість ВР на вибій

$$Q = q \cdot V, \text{ кг.} \quad (15)$$

Враховуючи умови роботи шпурових зарядів та їх розташування відносно відкритої поверхні розрахунок відбійної ЛНО для шпуру рекомендовано проводити за величиною радіусу зони інтенсивного подрібнення [27, 28].

Розрахункова величина відбійної ЛНО для шпуру

$$W_{\text{в}} = R_{\text{д}} = R_{\text{зм}} \cdot \sqrt{1 + \frac{\rho \cdot D^2 \cdot d}{8 \cdot R_{\text{зм}} \cdot K_y \cdot K_c \cdot \sigma_{\text{см}}}}, \text{ м.} \quad (16)$$

Розрахунок площі груп шпурів для виробок прямокутно-склепінчастої й аркової форм проводимо згідно розрахункової схеми, що подано на рис. 1.

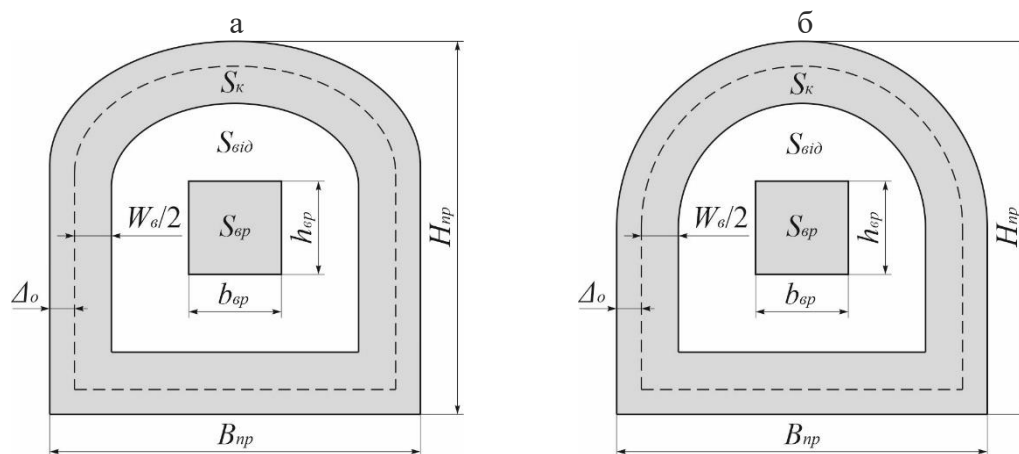


Рисунок 1. Розрахункова схема для визначення площі груп шпурів для виробок прямокутно-склепінчастої (а) й аркової (б) форм

Площа контурних шпурів

– для виробок прямокутно-склепінчастої форми

$$S_{\text{к}} = S_{\text{нр}} - (B_{\text{нр}} - 2 \cdot \Delta_{\text{о}} - W_{\text{в}}) \times \left( (H_{\text{нр}} - 2 \cdot \Delta_{\text{о}} - W_{\text{в}}) - \frac{(B_{\text{нр}} - 2 \cdot \Delta_{\text{о}} - W_{\text{в}})}{3} + 0,26 \cdot (B_{\text{нр}} - 2 \cdot \Delta_{\text{о}} - W_{\text{в}}) \right), \text{ м}^2; \quad (17)$$

– для виробок аркової форми

$$S_{\text{к}} = S_{\text{нр}} - (B_{\text{нр}} - 2 \cdot \Delta_{\text{о}} - W_{\text{в}}) \times \left( (H_{\text{нр}} - 2 \cdot \Delta_{\text{о}} - W_{\text{в}}) - 0,5 \cdot (B_{\text{нр}} - 2 \cdot \Delta_{\text{о}} - W_{\text{в}}) \right) - 0,125 \cdot \pi \cdot (B_{\text{нр}} - 2 \cdot \Delta_{\text{о}} - W_{\text{в}})^2, \text{ м}^2, \quad (18)$$

де  $\Delta_0$  – відстань від контуру виробки до лінії контурних шпурів, що дорівнює величині радіусу зони зминання  $R_{zm}$ , за даними практичного досвіду ця відстань змінюється у межах 0,15–0,25 м.

Площа вибою для відбійних шпурів

$$S_{\text{в}} = S_{\text{нр}} - (S_{\text{вр}} + S_{\text{к}}), \text{ м}^2, \quad (19)$$

де  $S_{\text{вр}}$  – площа врубу,  $\text{м}^2$ .

Якщо площа вибою для відбійних шпурів  $S_{\text{в}}$  дорівнює нулю або має від’ємний результат, то в цьому випадку у вибою буде відсутня група відбійних шпурів, а тоді середня розрахункова відбійна ЛНО визначається за формулою (16).

Розрахункова кількість відбійних шпурів

$$N_{\text{р.в}} = \frac{1,27 \cdot q \cdot S_{\text{в}}}{\rho \cdot d^2 \cdot k_3}, \text{ шт.}, \quad (20)$$

де  $k_3$  – коефіцієнт заповнення шпуру ВР, який змінюється у межах 0,30–0,85, або знаходиться за формулою

$$k_3 = \frac{l_3}{l_{\text{ш}}} = \frac{l_{\text{ш}} - 0,5 \cdot W_{\text{в}} - l_{\text{заб}} - l_{\text{нб}}}{l_{\text{ш}}}, \quad (21)$$

де  $l_3$  – довжина заряду ВР у шпурі, м;  $l_{\text{заб}}$  – довжина забивки  $\geq 0,5$  м;  $l_{\text{нб}}$  – довжина патрона-бойовика, м.

Отримана кількість відбійних шпурів повинна бути проаналізована. Велика їх кількість призводить до збільшення трудомісткості та тривалості бурових робіт, що знижує швидкість проведення виробки. І навпаки, невелика кількість шпурів призводить до поганого подрібнення породи, що ускладнює її навантаження та транспортування. Досвід виконання підривних робіт при проведенні виробок дозволив встановити, що оптимальним є така кількість відбійних шпурів, при якій на  $1 \text{ м}^2$  площі вибою, яку висаджують ці шпури, приходиться 1–2 шпури. Велика кількість шпурів вказує на те, що було невдало обрано ВР з недостатньою потужністю та занижений діаметр заряду. В цьому випадку необхідно застосувати найбільш потужну ВР, збільшити діаметр заряду та виконати перерахунок кількості шпурів.

Площа вибою, яка приходиться на один відбійний шпур

$$S_{\text{в.ш}} = \frac{S_{\text{в}}}{N_{\text{р.в}}}, \text{ м}^2. \quad (22)$$

Скорегована розрахункова відбійна ЛНО шпуру

$$W_{\text{р.в}} = \sqrt{S_{\text{в.ш}}}, \text{ м}. \quad (23)$$

Розрахункова відстань між відбійними шпурами в ряді

$$a_{p.в} = m \cdot W_{cp.в}, \text{ м}, \quad (24)$$

де  $m$  – коефіцієнт зближення зарядів для відбійних шпурів, який змінюється у межах 1,0–1,3.

Кількість рядів відбійних шпурів:

– за шириною виробки

$$n_{z.p.в} = \frac{0,5 \cdot B_{np} - \Delta_o - 0,5 \cdot b_{вp}}{W_{cp.в}} - 1, \text{ м}; \quad (25)$$

– за висотою виробки

$$n_{в.p.в} = \frac{0,5 \cdot H_{np} - \Delta_o - 0,5 \cdot h_{вp}}{W_{cp.в}} - 1, \text{ м}, \quad (26)$$

де  $b_{вp}$  – ширина врубу, м;  $h_{вp}$  – висота врубу, м.

Фактична відстань між рядами відбійних шпурів

– за шириною виробки

$$W_{z.ф} = \frac{0,5 \cdot B_{np} - \Delta_o - 0,5 \cdot b_{вp}}{n_{z.p.в} + 1}, \text{ м}; \quad (27)$$

– за висотою виробки

$$W_{в.ф} = \frac{0,5 \cdot H_{np} - \Delta_o - 0,5 \cdot h_{вp}}{n_{в.p.в} + 1}, \text{ м}. \quad (28)$$

Оптимальні контури розташування рядів відбійних шпурів – це ряди, які повторюють форму поперечного перерізу виробки.

Кількість відбійних шпурів у  $i$ -му контурі з боків і покрівлі

– для виробок прямокутно-склепінчастої форми

$$n_{бн.в(i)} = \frac{2 \cdot \left( h_i - \frac{b_i}{3} \right) + 1,33 \cdot b_i}{a_{p.в}} - 1, \text{ шт.}; \quad (29)$$

– для виробок аркової форми

$$n_{бн.в(i)} = \frac{2 \cdot (h_i - 0,5 \cdot b_i) + 0,5 \cdot \pi \cdot b_i}{a_{p.в}} - 1, \text{ шт.}, \quad (30)$$

де  $b_i$  – ширина  $i$ -го контуру відбійних шпурів, м;  $h_i$  – висота  $i$ -го контуру відбійних шпурів, м.



Фактична відстань між відбійними шпурами у  $i$ -му контуру з боків і у покрівлі:

– для виробок прямокутно-склепінчастої форми

$$a_{ф.бн.г(i)} = \frac{2 \cdot \left( h_i - \frac{b_i}{3} \right) + 1,33 \cdot b_i}{n_{бн.г(i)} + 1}, \text{ шт.}; \quad (31)$$

– для виробок аркової форми

$$a_{ф.бн.г(i)} = \frac{2 \cdot (h_i - 0,5 \cdot b_i) + 0,5 \cdot \pi \cdot b_i}{n_{бн.г(i)} + 1}, \text{ шт.} \quad (32)$$

Кількість відбійних шпурів у  $i$ -му контурі підосви

$$n_{н.г(i)} = \frac{b_i}{a_{р.г}} + 1, \text{ шт.} \quad (33)$$

Фактична відстань між відбійними шпурами у  $i$ -му контуру підосви

$$a_{ф.н.г(i)} = \frac{b_i}{n_{н.г(i)} - 1}, \text{ шт.} \quad (34)$$

Кількість відбійних шпурів у  $i$ -му контурі

$$N_{г(i)} = n_{бн.г(i)} + n_{н.г(i)}, \text{ шт.} \quad (35)$$

Загальна кількість відбійних шпурів

$$N_{вiд} = \sum_{i=1}^n N_{г(i)}, \text{ шт.} \quad (36)$$

Розрахункова відстань між контурними шпурами

$$a_{р.к} = m \cdot W_{ср.г}, \text{ м}, \quad (37)$$

де  $m$  – коефіцієнт зближення зарядів для контурних шпурів, який змінюється у межах 0,75–0,95, де менше значення приймають для контурних шпурів підосви.

Кількість контурних шпурів з боків і покрівлі:

– для виробок прямокутно-склепінчастої форми

$$N_{бн.к} = \frac{2 \cdot \left( (H_{np} - 2 \cdot \Delta_o) - \frac{B_{np} - 2 \cdot \Delta_o}{3} \right) + 1,33 \cdot (B_{np} - 2 \cdot \Delta_o)}{a_{р.к}} - 1, \text{ шт.}; \quad (38)$$

– для виробок аркової форми

$$N_{\text{бн.к}} = \frac{2 \cdot ((H_{\text{нр}} - 2 \cdot \Delta_o) - 0,5 \cdot (B_{\text{нр}} - 2 \cdot \Delta_o)) + 0,5 \cdot \pi \cdot (B_{\text{нр}} - 2 \cdot \Delta_o)}{a_{\text{р.к}}} - 1, \text{ шт.} \quad (39)$$

Фактична відстань між контурними шпурами з боків і покрівлі:

– для виробок прямокутно-склепінчастої форми

$$a_{\text{ф.бн.к}} = \frac{2 \cdot \left( (H_{\text{нр}} - 2 \cdot \Delta_o) - \frac{B_{\text{нр}} - 2 \cdot \Delta_o}{3} \right) + 1,33 \cdot (B_{\text{нр}} - 2 \cdot \Delta_o)}{N_{\text{бн.к}} + 1}, \text{ шт.}; \quad (40)$$

– для виробок аркової форми

$$a_{\text{ф.бн.к}} = \frac{2 \cdot ((H_{\text{нр}} - 2 \cdot \Delta_o) - 0,5 \cdot (B_{\text{нр}} - 2 \cdot \Delta_o)) + 0,5 \cdot \pi \cdot (B_{\text{нр}} - 2 \cdot \Delta_o)}{N_{\text{бн.к}} + 1}, \text{ шт.} \quad (41)$$

Кількість контурних шпурів у підшви

$$N_{\text{н.к}} = \frac{B_{\text{нр}} - 2 \cdot \Delta_o}{a_{\text{р.к}}} + 1, \text{ шт.} \quad (42)$$

Фактична відстань між контурними шпурами підшви

$$a_{\text{ф.н.к}} = \frac{B_{\text{нр}} - 2 \cdot \Delta_o}{N_{\text{н.к}} - 1}, \text{ шт.} \quad (43)$$

Врубів, відбійні та контурні шпури у вибою виробки розташовують згідно розрахункової схеми, що подано на рис. 2.

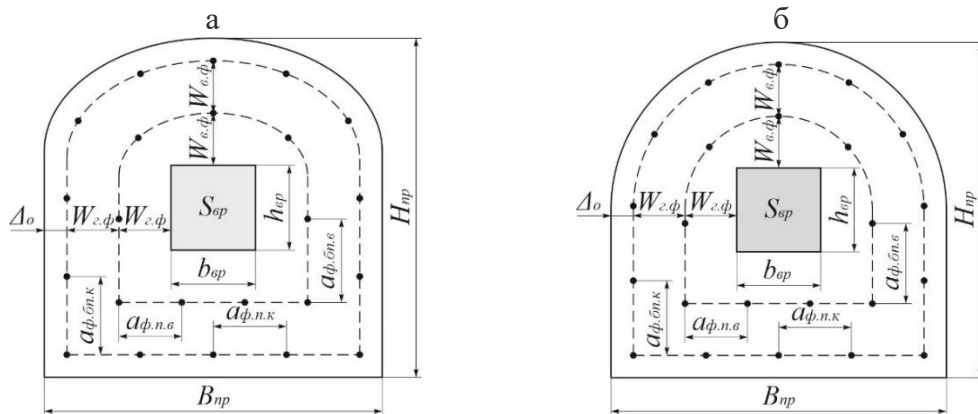


Рисунок 2. Розрахункова схема розташування шпурів у вибою виробки прямокутно-склепінчастої (а) і аркової (б) форми

Загальна кількість шпурів у вибою виробки, що заряджаються

$$N = N_{ер} + N_{від} + N_{он.к} + N_{н.к}, \text{ шт.}, \quad (44)$$

де  $N_{ер}$  – кількість врубових шпурів, що заряджаються, шт.

У процесі уточнення паспорту БПР допускається збільшення загальної кількості шпурів у вибою, але лише на 10%, а у виробках перерізом до 5 м<sup>2</sup> не більше ніж на 4 шпури.

Середня величина заряду на один шпур

$$Q_{ш} = \frac{Q}{N}, \text{ кг.} \quad (45)$$

Величина заряду у шпурі за його призначенням

$$Q_z = K_n \cdot Q_{ш}, \text{ кг.} \quad (46)$$

де  $K_n$  – коефіцієнт, що враховує збільшення або зменшення заряду ВР у шпурі в залежності від його призначення, для врубового шпуру  $K_n = 1,1-1,2$ , для відбійного шпуру –  $K_n = 1,0$ , для контурного шпуру з боків та покрівлі  $K_n = 0,9-1,0$ , для контурного шпуру підосви  $K_n = 1,0-1,2$ .

Фактичні витрати ВР на вибій

$$Q_{ф} = N_{ер} \cdot Q_{ер} + N_{від} \cdot Q_{від} + N_{он.к} \cdot Q_{он.к} + N_{н.к} \cdot Q_{н.к}, \text{ кг.} \quad (47)$$

де  $Q_{ер}$  – величина заряду ВР у врубовому шпурі, кг;  $Q_{від}$  – величина заряду ВР у відбійному шпурі, кг;  $Q_{он.к}$  – величина заряду ВР у контурному шпурі з боків та покрівлі, кг;  $Q_{н.к}$  – величина заряду ВР у контурному шпурі підосви, кг.

Довжина заряду сумішевої ВР або наливної ЕВР у шпурі без урахування патрона-бойовика

$$l_z = \frac{Q_z}{0,785 \cdot d^2 \cdot \rho}, \text{ м.} \quad (48)$$

Фактичні питомі втрати ВР

$$q_{ф} = \frac{Q_{ф}}{V_{ф}} = \frac{Q_{ф}}{S_{нр} \cdot l_{ш} \cdot \eta}, \text{ кг/м}^3. \quad (49)$$

У якості прикладу наведемо розрахунки параметрів БПР при проведенні горизонтальної гірничої виробки в умовах ПрАТ «ЗЗРК» за наступними вихідними даними, що подано у табл. 1.

Таблиця 1. Вихідні дані для розрахунку параметрів БПР при проведенні горизонтальної гірничої виробки в умовах ПрАТ «ЗЗРК»

Найменування	Одиниця виміру	Показник
Виробка	–	Орт
Ширина виробки	м	3,80
Висота виробки	м	3,65
Міцність порід або руди на сти- скання	МПа	50–70
Щільність порід	кг/м <sup>3</sup>	3950
Глибина розташування виробки	м	910
Тріщинуватість	–	Середня
Глибина комплексу шпурів	м	2,7
Діаметр шпурів	м	0,043
Вруб	–	Призматичний
Густина ЕВР Україніт-ПП-2	кг/м <sup>3</sup>	1250

Результати розрахунку параметрів БПР для горизонтальної гірничої виробки під умови ПрАТ «ЗЗРК» за наведеною методикою, подано у табл. 2.

Таблиця 2. Результати розрахунку параметрів БПР для горизонтальної гірничої виробки в умовах ПрАТ «ЗЗРК»

Найменування	Одиниця виміру	Показ- ник
1	2	3
Коефіцієнт ущільнення масиву, $K_y$	ч. од.	1,02
Коефіцієнт структурного послаблення ма- сиву, $K_c$	ч. од.	0,80
Розрахункові питомі витрати ВР, $q$	кг/м <sup>3</sup>	2,82
Розрахункова кількість ВР на вибій, $Q$	кг	97,62
Величина радіусу зони змінання, $R_{зм}$	м	0,35
Розрахункова відбійна ЛНО для шпуру, $W_v$	м	1,05
Площа перетину виробки у проходці, $S_{np}$	м <sup>2</sup>	12,81
Площа контурних шпурів, $S_k$	м <sup>2</sup>	7,60
Площа врубу, $S_{вр}$	м <sup>2</sup>	1,0
Площа вибою для відбійних шпурів, $S_v$	м <sup>2</sup>	4,21
Скорегована розрахункова ЛНО, $W_{ср.в}$	м	0,73
Кількість врубових шпурів, що заряджа- ються, $N_{вр}$	шт.	8
Кількість відбійних шпурів, $N_{від}$	шт.	11
Кількість контурних шпурів:		
– з боків і покрівлі, $N_{бн.к}$	шт.	10
– у підосві, $N_{п.к}$	шт.	6
Загальна кількість шпурів, $N$	шт.	35

Середня величина заряду на шпур, $Q_{ш}$	кг	2,7
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Величина заряду:		
– для врубового шпuru, $Q_{вр}$	кг	3,3
– для відбійного шпuru, $Q_{від}$	кг	2,7
– для контурного шпuru з боків і покрівлі, $Q_{бп.к}$	кг	2,6
– для контурного шпuru підосви, $Q_{п.к}$	кг	3,3
Фактичні витрати ВР на вибій, $Q_{ф}$	кг	104,5
Довжина заряду без патрона-бойовика:		
– врубового шпuru, $l_{з.вр}$	м	1,82
– відбійного шпuru, $l_{з.від}$	м	1,49
– контурного шпuru з боків і покрівлі, $l_{з.бп.к}$	м	1,43
– контурного шпuru підосви, $l_{з.п.к}$	м	1,82
Коефіцієнт використання шпурів, $\eta$	–	0,85–0,95
Фактичні прогнозні питомі витрати ВР, $q_{ф}$	кг/м <sup>3</sup>	3,6–3,2

За результатами розрахунку було викреслено розташування шпурів у вибою горизонтальної виробки та конструкція врубу, що подано на рис. 3.

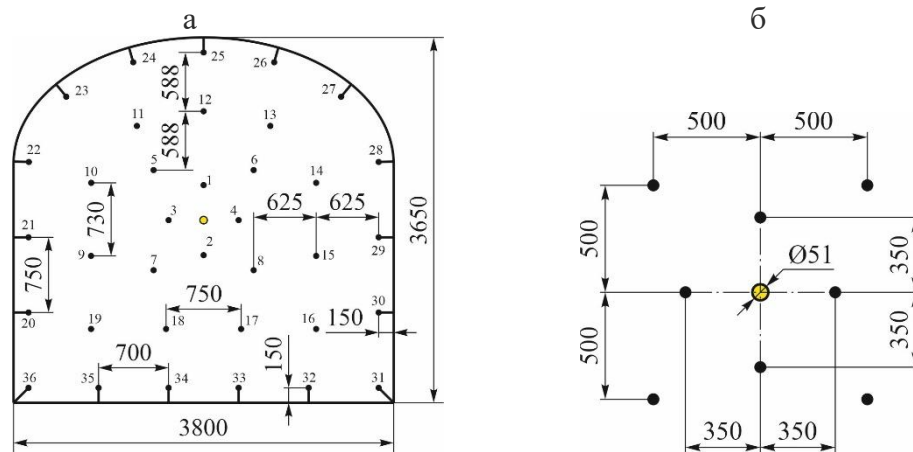


Рисунок 3. Розташування шпурів у вибої горизонтальної виробки (а) та конструкція врубу (б)

## 5. ВИСНОВКИ

1. Отримані протягом 2011–2021 рр. науково-практичні результати [26-33], дозволили розробити принципово нову методику розрахунку параметрів БПР при проведенні горизонтальних і похилих гірничих виробок. В основу якої було закладено принцип розміщення груп шпурів за площами, які вони займають у вибою виробки та розташування їх за відбійними контурами.

2. Розрахунок параметрів БПР починався з визначення відбійної ЛНО за новою формулою, яка враховує діаметр шпuru, фізико-механічні властивості

гірничого масиву, енергетичні характеристики ВР і дію гірського тиску. На підставі цього запропоновано розрахункову схему розташування шпурів у вибою для прямокутно-склепінчастої форм виробок. За запропонованою методикою параметри розташування шпурів мають фактичну розраховану величину, так само як і величина заряду для кожного шпуру у групі.

3. Використання нової методики розрахунку параметрів БПР при проведенні гірничих виробок дозволяє раціоналізувати рівномірне розташування шпурів у вибою, що призведе до зниження собівартості проведення 1 м<sup>3</sup> виробки при використанні вітчизняного та закордонного прохідницького обладнання при застосуванні патрованої ЕВР Україніт-П-СА до 11%, а при застосуванні наливної ЕВР Україніт-ПП-2 – до 18%, відносно патрованої ВР Амоніт № 6 ЖВ.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Khomenko, O., Kononenko, M., & Savchenko, M. (2018). *Technology of underground mining of ore deposits*. <http://doi.org/10.33271/dut.001>
2. Kozyrev, S.A., Vlasova, E.A., & Sokolov, A.V. (2020). Estimation of factual energetics of emulsion explosives by experimental detonation velocity test data. *Gornyi Zhurnal*, (9), 47–53. <http://doi.org/10.17580/gzh.2020.09.06>
3. Kholodenko, T., Ustimenko, Y., Pidkamenna, L., & Pavlychenko, A. (2014). Ecological safety of emulsion explosives use at mining enterprises. *Progressive Technologies of Coal, Coalbed Methane, and Ores Mining*, 255–260. <http://doi.org/10.1201/b17547-45>
4. Mironova, I., & Pavlichenko, A. (2013). Analysis of air pollution levels during underground ore mining. *Mining of Mineral Deposits*, 7(3), 261–266. <http://doi.org/10.15407/mining07.03.261>
5. Mironova, I., & Borysovs'ka, O. (2014). Defining the parameters of the atmospheric air for iron ore mines. *Progressive Technologies of Coal, Coalbed Methane, and Ores Mining*, 333–339. <http://doi.org/10.1201/b17547-57>
6. Myronova, I. (2015). The level of atmospheric pollution around the iron-ore mine. *New Developments in Mining Engineering 2015*, 193–197. <http://doi.org/10.1201/b19901-35>
7. Myronova, I. (2015). Changing of biological traits of winter wheat that vegetate near emission source of iron-ore mine. *Mining of Mineral Deposits*, 9(4), 461–468. <http://doi.org/10.15407/mining09.04.461>
8. Myronova, I. (2016). Prediction of contamination level of the atmosphere at influence zone of iron-ore mine. *Mining Of Mineral Deposits*, 10(2), 64–71. <https://doi.org/10.15407/mining10.02.0064>
9. Khomenko, O., Kononenko, M., & Myronova, I. (2017). Ecologic-and-technical aspects of iron-ore underground mining. *Mining of mineral deposits*, 11(2), 59–67 <https://doi.org/10.15407/mining11.02.059>
10. Khomenko, O., Kononenko, M., & Myronova, I. (2013). Blasting works technology to decrease an emission of harmful matters into the mine atmosphere. *Mining Of Mineral Deposits*, 231–235. <http://doi.org/10.1201/b16354-43>
11. Kholodenko, T., Ustimenko, Y., Pidkamenna, L., & Pavlychenko, A. (2015). Technical, economic and environmental aspects of the use of emulsion explosives by ERA brand in underground and surface mining. *New Developments in Mining Engineering 2015*, 211–219. <http://doi.org/10.1201/b19901-38>
12. Pokrovsky N.M. (1977). *Underground structures and mines construction practices*.
13. Миндели Э.О. (1974). *Разрушение горных пород*.

14. Мангуш С.К., Фисун А.П. (2003). *Справочник по буровзрывным работам на подземных горных разработках*.
15. Барон Л.И., Васильев Г.А., Докучаев М.М. (1981). *Взрывные работы*.
16. Баранов А.О. (1993). *Проектирование технологических схем и процессов подземной добычи руд*.
17. Кутузов Б.Н., Андриевский А.П. (2002). *Новая теория и новые технологии разрушения горных пород удлинёнными зарядами взрывчатых веществ*.
18. Вохмин С.А., Курчин Г.С., Кирсанов А.К., Дерягин П.А. (2014). Методика расчёта параметров буровзрывных работ при проходке горизонтальных и наклонных горных выработок. *Вестник МГТУ им. Г.И. Носова*, 4(48), 5–9.
19. Kurchin G.S., Vokhmin S.A., Kirsanov A.K., Shigin A.O., Shigina A.A. (2005). Calculation methodology of blasting and explosion operations' parameters for construction of horizontal and inclined excavations. *International Journal of Applied Engineering Research*, 10(15), 35897–35906.
20. Угольников В.К., Симонов П.С. (2007). Определение переводных коэффициентов при расчете эквивалентных зарядов дробления. *Вестник МГТУ им. Г.И. Носова*, (4), 14–17.
21. Кукиб Б.Н., Иоффе В.Б., Жученко Е.И., Фролов А.Б. (2007). О критериях оценки относительной работоспособности промышленных взрывчатых веществ. *Горный информационно-аналитический бюллетень*, (S8), 127–137.
22. Афанасенков А.Н. (2004). О работоспособности взрывчатых веществ. Метод Трауцля. *Физика горения и взрыва*, 40(1), 132–139.
23. Афанасенков А.Н. (2002). О работоспособности ВВ. Метод Трауцля. *Проблемы взрывного дела*, (1), 114–122.
24. Афанасенков А.Н., Котова Л.И., Кукиб Б.Н. (2001). О работоспособности промышленных взрывчатых веществ. *Физика горения и взрыва*, 37(3), 115–125.
25. Пупков В.В., Маслов И.Ю., Сивенков В.И., Кутьин Н.Г., Гавршов Н.И. (2005). Некоторые рекомендации по профилактике и предупреждению несчастных случаев при проведении промышленных испытаний новых взрывчатых материалов. *Взрывное дело*, (95/52), 183–191.
26. Kononenko, M., Khomenko, O., Savchenko, M., & Kovalenko, I. (2019). Method for calculation of drilling-and-blasting operations parameters for emulsion explosives. *Mining Of Mineral Deposits*, 13(3), 22–30. <https://doi.org/10.33271/mining13.03.022>
27. Kononenko, M., & Khomenko, O. (2021). New theory for the rock mass destruction by blasting. *Mining Of Mineral Deposits*, 15(2), 111–123. <https://doi.org/10.33271/mining15.02.111>
28. Kononenko, M., & Khomenko, O. (2020). New theory of rock massif fragmentation by using explosion energy. In *Materials of the international scientific and practical conference «Physical & Chemical Geotechnologies»* (pp. 29–30).
29. Kononenko, M., Khomenko, O., Kovalenko, I., & Savchenko, M. (2021). Control of density and velocity of emulsion explosives detonation for ore breaking. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, (2), 69–75. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2021-2/069>
30. Khomenko, O., Kononenko, M., & Astafiev, D. (2017). Effectiveness of Geo-Energy Usage during Underground Mining of Deposits. *Advanced Engineering Forum*, 22, 100–106. <http://dx.doi.org/10.4028/www.scientific.net/aef.22.100>
31. Khomenko, O., & Kononenko, M. (2019). Geo-energetics of Ukrainian crystalline shield. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, (3), 12–21. <https://doi.org/10.29202/nvngu/2019-3/3>

32. Khomenko, O., Rudakov, D. & Kononenko, M. (2011). Automation of drill and blast design. *Technical And Geoinformational Systems In Mining*. 271–275. <http://doi.org/10.1201/b11586-45>

33. Khomenko, O., Kononenko, M., Myronova, I., & Savchenko, M. (2019). Application of the emulsion explosives in the tunnels construction. *E3S Web of Conferences*, 123, 01039. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201912301039>

## REFERENCES

1. Khomenko, O., Kononenko, M., & Savchenko, M. (2018). *Technology of underground mining of ore deposits*. <http://doi.org/10.33271/dut.001>

2. Kozyrev, S.A., Vlasova, E.A., & Sokolov, A.V. (2020). Estimation of factual energetics of emulsion explosives by experimental detonation velocity test data. *Gornyi Zhurnal*, (9), 47–53. <http://doi.org/10.17580/gzh.2020.09.06>

3. Kholodenko, T., Ustimenko, Y., Pidkamenna, L., & Pavlychenko, A. (2014). Ecological safety of emulsion explosives use at mining enterprises. *Progressive Technologies of Coal, Coalbed Methane, and Ores Mining*, 255–260. <http://doi.org/10.1201/b17547-45>

4. Mironova, I., & Pavlichenko, A. (2013). Analysis of air pollution levels during underground ore mining. *Mining of Mineral Deposits*, 7(3), 261–266. <http://doi.org/10.15407/mining07.03.261>

5. Mironova, I., & Borysovs'ka, O. (2014). Defining the parameters of the atmospheric air for iron ore mines. *Progressive Technologies of Coal, Coalbed Methane, and Ores Mining*, 333–339. <http://doi.org/10.1201/b17547-57>

6. Myronova, I. (2015). The level of atmospheric pollution around the iron-ore mine. *New Developments in Mining Engineering 2015*, 193–197. <http://doi.org/10.1201/b19901-35>

7. Myronova, I. (2015). Changing of biological traits of winter wheat that vegetate near emission source of iron-ore mine. *Mining of Mineral Deposits*, 9(4), 461–468. <http://doi.org/10.15407/mining09.04.461>

8. Myronova, I. (2016). Prediction of contamination level of the atmosphere at influence zone of iron-ore mine. *Mining Of Mineral Deposits*, 10(2), 64–71. <https://doi.org/10.15407/mining10.02.0064>

9. Khomenko, O., Kononenko, M., & Myronova, I. (2017). Ecologic-and-technical aspects of iron-ore underground mining. *Mining of mineral deposits*, 11(2), 59–67 <https://doi.org/10.15407/mining11.02.059>

10. Khomenko, O., Kononenko, M., & Myronova, I. (2013). Blasting works technology to decrease an emission of harmful matters into the mine atmosphere. *Mining Of Mineral Deposits*, 231–235. <http://doi.org/10.1201/b16354-43>

11. Kholodenko, T., Ustimenko, Y., Pidkamenna, L., & Pavlychenko, A. (2015). Technical, economic and environmental aspects of the use of emulsion explosives by ERA brand in underground and surface mining. *New Developments in Mining Engineering 2015*, 211–219. <http://doi.org/10.1201/b19901-38>

12. Pokrovsky N.M. (1977). *Underground structures and mines construction practices*.

13. Mindeli E.O. (1974). *Razrushenie gornykh porod*.

14. Mangush S.K., Fisun A.P. (2003). *Spravochnik po burovzryivnyim rabotam na podzemnykh gornykh razrabotkakh*.

15. Baron L.I., Vasilev G.A., Dokuchaev M.M. (1981). *Vzryivnyie raboty*.

16. Baranov A.O. (1993). *Proektirovanie tehnologicheskikh shem i protsessov podzemnoy dobyichi rud*.

17. Kutuzov B.N., Andrievskiy A.P. (2002). *Novaya teoriya i novyye tehnologii razrusheniya gornykh porod udlinYonnyimi zaryadami vzryivchatykh veschestv*.



18. Vohmin S.A., Kurchin G.S., Kirsanov A.K., Deryagin P.A. (2014). Metodika raschYota parametrov burovzryivnyih rabot pri prohodke gorizontalnyih i naklonnyih gornyyih vyirabotok. *Vestnik MGTU im. G.I. Nosova*, 4(48), 5–9.
19. Kurchin G.S., Vokhmin S.A., Kirsanov A.K., Shigin A.O., Shigina A.A. (2005). Calculation methodology of blasting and explosion operations' parameters for construction of horizontal and inclined excavations. *International Journal of Applied Engineering Research*, 10(15), 35897–35906.
20. Ugolnikov V.K., Simonov P.S. (2007). Opredelenie perevodnyih koeffitsientov pri raschete ekvivalentnyih zaryadov drobleniya. *Vestnik MGTU im. G.I. Nosova*, (4), 14–17.
21. Kukib B.N., Ioffe V.B., Zhuchenko E.I., Frolov A.B. (2007). O kriteriyah otsenki odnositelnoy rabotosposobnosti promyshlennyih vzryivchatyih veschestv. *Gornyyi informatsionno-analiticheskiy byulleten*, (S8), 127–137.
22. Afanasenkov A.N. (2004). O rabotosposobnosti vzryivchatyih veschestv. Metod Trau-tslya. *Fizika gorennya i vzryiva*, 40(1), 132–139.
23. Afanasenkov A.N. (2002). O rabotosposobnosti VV. Metod Trautslya. *Problemyi vzryivnogo dela*, (1), 114–122.
24. Afanasenkov A.N., Kotova L.I., Kukib B.N. (2001). O rabotosposobnosti promyshlennyih vzryivchatyih veschestv. *Fizika gorennya i vzryiva*, 37(3), 115–125.
25. Pupkov V.V., Maslov I.Yu., Sivenkov V.I., Kutin N.G., Gavrshov N.I. (2005). Nekotorye rekomendatsii po profilaktike i preduprezhdeniyu neschastnyih sluchaev pri provedenii promyshlennyih ispytaniy novyih vzryivchatyih materialov. *Vzryivnoe delo*, (95/52), 183–191.
26. Kononenko, M., Khomenko, O., Savchenko, M., & Kovalenko, I. (2019). Method for calculation of drilling-and-blasting operations parameters for emulsion explosives. *Mining Of Mineral Deposits*, 13(3), 22–30. <https://doi.org/10.33271/mining13.03.022>
27. Kononenko, M., & Khomenko, O. (2021). New theory for the rock mass destruction by blasting. *Mining Of Mineral Deposits*, 15(2), 111–123. <https://doi.org/10.33271/mining15.02.111>
28. Kononenko, M., & Khomenko, O. (2020). New theory of rock massif fragmentation by using explosion energy. In *Materials of the internatijnal scientific and practical conference «Physical & Chemical Geotechnologies»* (pp. 29–30).
29. Kononenko, M., Khomenko, O., Kovalenko, I., & Savchenko, M. (2021). Control of density and velocity of emulsion explosives detonation for ore breaking. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, (2), 69–75. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2021-2/069>
30. Khomenko, O., Kononenko, M., & Astafiev, D. (2017). Effectiveness of Geo-Energy Usage during Underground Mining of Deposits. *Advanced Engineering Forum*, 22, 100–106. <http://dx.doi.org/10.4028/www.scientific.net/aef.22.100>
31. Khomenko, O., & Kononenko, M. (2019). Geo-energetics of Ukrainian crystalline shield. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, (3), 12–21. <https://doi.org/10.29202/nvngu/2019-3/3>
32. Khomenko, O., Rudakov, D. & Kononenko, M. (2011). Automation of drill and blast design. *Technical And Geoinformational Systems In Mining*. 271–275. <http://doi.org/10.1201/b11586-45>
33. Khomenko, O., Kononenko, M., Myronova, I., & Savchenko, M. (2019). Application of the emulsion explosives in the tunnels construction. *E3S Web of Conferences*, 123, 01039. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201912301039>

## ABSTRACT (IN UKRAINIAN)

**Мета.** Розробка методики розрахунку параметрів буропідричних робіт (БПР) для проведення гірничих виробок з урахуванням фізико-механічних властивостей порід, енергетичних характеристик вибухових речовин (ВР), тріщинуватості масиву і дії гірського тиску.

**Методика.** У роботі використано комплексний методичний підхід, що включає розробку методики визначення параметрів БПР з урахуванням фізико-механічних властивостей порід та енергетичних характеристик ВР, тріщинуватості масиву та дії гірського тиску.

**Результати.** Розроблено нову методику розрахунку раціональних параметрів БПР при проведенні підготовчих виробок, в яку було закладено принцип розміщення груп шпурів за площами, які вони займають у вибою виробки та розташування шпурів за відбійними контурами.

**Наукова новизна.** Параметри розташування шпурів у вибої виробки реалізовано за ступеневою закономірністю зміни лінії найменшого опору (ЛНО) у залежності від діаметру шпуру, фізико-механічних властивостей гірничого масиву, енергетичних характеристик ВР і дії гірського тиску.

**Практична цінність.** Використання нової методики розрахунку раціональних параметрів БПР для проведення виробок дозволяє здійснити ресурсозбереження при виконанні прохідницьких робіт до 18%.

**Ключові слова:** шпур, вибухова речовина, буропідричні роботи, зона інтенсивного подрібнення, лінія найменшого опору

## ABOUT AUTHORS

Kononenko Maksym, Candidate of Technical Science, Associated Professor, Dnipro University of Technology, Associate Professor of the Mining Engineering and Education Department, 19 Yavornytskoho Avenue., Dnipro, Ukraine, 49005, E-mail: kmn211179@gmail.com

Khomenko Oleh, Doctor of Technical Science, Professor, Dnipro University of Technology, Professor of the Mining Engineering and Education Department, 19 Yavornytskoho Avenue., Dnipro, Ukraine, 49005. E-mail: rudana.in.ua@gmail.com

Korobka Yevhen, Chief technologist for drilling and blasting works of PJSC "Zaporizkyi Iron-Ore Plant", Veselivske highway 7 km, Mala Bilozerka, Ukraine, 71674. E-mail: evgeniykorobka1976@gmail.com