

Розділ 2. Прогнозування і управління станом гірничого масиву

УДК 622.062:622.235.11

<https://doi.org/10.37101/ftpgp24.01.002>

РАЦІОНАЛЬНІ ПАРАМЕТРИ БУРОПІДРИВНИХ РОБІТ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ПІДНЯТТЄВИХ

М.М. Кононенко^{1*}, О.Є. Хоменко¹, А.В. Косенко²

¹Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна

²Відділення фізики гірничих процесів Інституту геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова Національної академії наук України, м. Дніпро, Україна

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

RATIONAL PARAMETERS OF DRILLING-AND-BLASTING OPERATIONS FOR RISE WORKING

M.M. Kononenko^{1*}, O.Ye. Khomenko¹, A.V. Kosenko

¹Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

²Branch for Physics of Mining Processes of the M.S. Poliakov Institute of Geotechnical Mechanics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Dnipro, Ukraine

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

ABSTRACT

Purpose. Development of a methodology for calculating the parameters of drilling and blasting (D&B) for rise working methods of borehole and blast-hole charges, taking into account the diameter of the charge, the detonation characteristics of explosives (EX), the physical and mechanical properties of rocks, their fracturing and compaction under the action of rock pressure.

Methods. The work uses a comprehensive methodological approach, including the development of a methodology for determining the parameters of the (D&B), taking into account the diameter of the (EX), the strength of the rocks in compression, the coefficients of structural weakening and compaction under the action of rock pressure.

Findings. A new method has been developed for calculating the rational parameters of (D&B) when conducting rising ones, in which the distance between borehole or blast-hole in a cut is determined by the radius of the shear zone, and for contour ones – by the radius of the zone of intensive crushing.

Originality. The parameters of the location of borehole or blast-hole in the raise face are implemented according to the power-law dependence of the change in the line of least resistance (LLR) depending on the diameter of the charge, detonation

characteristics of the (EX), physical and mechanical properties of rocks, their fracturing and compaction under the action of rock pressure.

Practical implications. The use of a new method for calculating the rational parameters of (D&B) for raise working make it possible to rationalize the location of borehole or blast-hole in the raise face, which will lead to resource saving during their sinking.

Keywords: borehole, blast-hole, explosive, drilling and blasting, zone of intensive crushing, line of least resistance

1. ВСТУП

При видобуванні залізних руд підземним способом одним з основних і найбільш трудомістких виробничих процесів є проведення підготовчих та нарізних виробок у межах блоків або камер, що їх підготовлюють до виконання очисних робіт [1]. Технологічний розвиток різноманітних систем розробки рудних покладів призвів до появи виробок, що мають невелику площу перерізу та складають конструктивне оформлення систем. При цих системах розробки для підготовки видобувних одиниць до очисних робіт проводять підняттяві виробки різного перерізу та довжини, які мають різноманітне призначення, а також похилі або вертикальні дучки. Для проведення цих виробок витрачають до 50% загальних трудових і матеріальних витрат на підготовку блоку до очисних робіт [2].

2. ДОСВІД ПРОВЕДЕННЯ ПІДНЯТТЕВИХ

Залежно від призначення, підняттяві виробки проводять по руді або породам та обладнують одним, двома або трьома відділеннями (для корисної копалини, породи, сходових ходів тощо). За призначенням підняттяві поділяються на вентиляційні, ходові, закладні, перепускні, матеріально-господарські, бурові та відрізні. Форма та розміри поперечного перерізу підняттявих залежать від їх призначення, кількості відділень і матеріалу кріплення. Найбільшого поширення набула квадратна, прямокутна та кругла форми поперечного перерізу з площею від 1,44 до 8,0 м². На кожній рудній шахті розробляють типові перерізи та розміри підняттявих, які найбільш відповідають конкретним умовам ведення гірничих робіт. Сьогодні існують 2 способи проведення підняттявих – буропідривний і машинний (комбайновий). До буропідривного способу проведення підняттявих відносяться: шпуровий з обладнанням тимчасових полків і сходів та за допомогою прохідницьких комплексів типу КПВ або КПН, і секційний з підриванням глибоких свердловинних зарядів [3]. Аналіз науково-технічних джерел дозволив встановити, що на залізородних шахтах Криворізького басейну щорічно проводиться близько 27 тис. м підняттявих [4, 5], а в умовах ПрАТ «ЗЗРК» – до 3 тис. м [6, 7].

Так за допомогою шпурового способу з обладнанням тимчасових полків на шахтах Криворізького басейну проводять підняттяві квадратної форми площею 1,44 і 2,25 м² з розмірами 1,2×1,2 і 1,5×1,5 м, а також круглої форми площею 1,8 м² діаметром 1,5 м. Висота цих підняттявих не перевищує

25–30 м. До основних робочих процесів за допомогою цього способу відносяться: буріння шпурів, заряджання та підривання, провітрювання, прибирання гірської маси та влаштування полків. Проведення підняттяєвих за цією технологією характеризується низьким рівнем безпеки, великою трудомісткістю всіх технологічних операцій, невисокими місячними темпами проходки, поганими санітарно-гігієнічними умовами праці, що обумовлено труднощами доставки матеріалів, інструментів та обладнання, значними трудовими витратами, необхідністю частого ремонту, вибитих вибухами, кріплення і комунікації [4, 5]. До переваг необхідно віднести його простоту й універсальність, невелику масу застосовуваного обладнання та відносну економічність при невеликій висоті підняттяєвого. На шахтах Криворізького басейну річний об'єм проведення підняттяєвих виробок з обладнанням тимчасових полків і сходів, площею 1,44 і 1,8 м² складає 6%, а площею 2,25 м² – 73%. В умовах шахт ПрАТ «ЗЗРК», з технологічних причин та особливостей конструктивних елементів системи розробки, цей спосіб проведення підняттяєвих сьогодні не використовується.

Проведення підняттяєвих за допомогою самохідних комплексів КПВ і КПН забезпечує механізацію доставки прохідників, обладнання та матеріалів у вибій виробки. За допомогою цього способу на шахтах Криворізького басейну проводять підняттяєві квадратної та прямокутної форм площею 3,2 і 4 м² з розмірами 1,6×2 і 2×2 м. Застосування цих комплексів економічно доцільно при проведенні підняттяєвих висотою не менш 60–80 м [2]. Прохідницький цикл при використанні комплексів складається з наступних робочих процесів: прибирання гірської маси, буріння шпурів під анкери, нарощування монорейки, буріння шпурів у вибої, заряджання та підривання шпурів, провітрювання вибою. Недоліком даного виду проведення є те, що прохідники постійно знаходяться у вибої підняттяєвого та більшу частину робочих операцій виконують вручну [5]. В умовах шахт Криворізького басейну річний об'єм проведення підняттяєвих виробок за допомогою прохідницьких комплексів площею 3,2 м² складає 11%, а площею 4 м² – 10%. На шахтах ПрАТ «ЗЗРК» цей спосіб проходки підняттяєвих вже не використовується.

Ще одним зі способів проведення підняттяєвих за допомогою БПР є секційний з підриванням глибоких свердловинних зарядів. Проведення підняттяєвих за допомогою цього способу виключає присутність людей у вибої виробки. Всі роботи з буріння, заряджання та висадження свердловин здійснюються з прилеглих до підняттяєвого горизонтальних виробок. Для проведення підняттяєвого цим способом на всю довжину з верхньої виробки бурять свердловини діаметром 0,089–0,105 м, відстань між якими становить 0,5–0,9 м [8]. Підняттяєвий формується в результаті послідовного відбивання окремих секцій довжиною по 2–4 м у напрямку знизу вгору. За допомогою цього способу проводять підняттяєві висотою до 40 м, що обумовлено викривлення свердловин при бурінні. Перед заряджанням нижню частину свердловин перекривають дерев'яними конічними пробками, що опускають у свердловину на шпагаті або на дроті, а її заряджання проводиться зверху – з боку устя. Над зарядом на висоту 0,5–1,0 м насипається шар породи або піску, який слугує забивкою. Цей спосіб застосовується для проведення відрізних, вентиляційних і рудоперпускових підняттяєвих, які не потребують кріплення. Сьогодні на шахтах

Криворізького басейну проведення підняттявих секційним підриванням глибоких свердловин із-за ряду причин різного характеру не знайшов застосування, а в умовах ПрАТ «ЗЗРК» за допомогою цього способу проводять до 72% від загальної протяжності підняттявих площею 4 і 6 м².

На шахтах Криворізького басейну 3,3%, а у ПрАТ «ЗЗРК» – 28% від загальної протяжності підняттявих проводять машинним (комбайновим) способом. Площа поперечного перерізу підняттявих коливається в межах від 2,5 до 4,5 м². Цей спосіб є конкурентоспроможним з буропідривним тільки при проведенні підняттявих висотою понад 80 м. У більшості випадків бурінням проводять підняттяві між двома концентраційними горизонтами. Найбільшого поширення отримала технологія з бурінням по осі підняттявого випереджаючої (передової, пілотної) свердловини діаметром до 0,3 м на повну довжину з подальшим її розширенням знизу вгору до проектного діаметру підняттявої виробки. Підготовчі роботи з проведення підняттявого починаються з вибору місця закладення випереджальної свердловини і проведення камери об'ємом 60–140 м³ для розміщення комбайну та зведення підстави для нього біля устя свердловини. Підставою слугує бетонна площадка (фундамент), на яку цанговими болтами кріпляться лапи на рамі комбайну. Випереджальну свердловину бурять шарошечною коронкою з використанням спрямовуючих штанг, що перешкоджають відхиленню свердловини від заданого напрямку. Після виходу випереджальної свердловини на нижній горизонт шарошечну коронку знімають, а буровий став оснащують розширювачем заданого кінцевого діаметра підняттявого. Проводити підняттяві висотою до 80 м за допомогою комбайна недоцільно через високі витрати ручної праці при спорудженні бурових камер і бетонних підстав в них, високої трудомісткості монтажу, демонтажу та перевезення комбайнів. Недоліком даного способу проведення є висока вартість комбайнів і пороодо-руйнівного інструменту, їх громіздкість і велика маса [1, 4, 5].

Аналізом технології проведення підняттявих встановлено, що за допомогою БПР в умовах шахт Криворізького басейну проводять до 97% загальної протяжності підняттявих виробок, а в умовах шахт ПрАТ «ЗЗРК» – до 72%. Виходячи з наведеного, стає очевидним, що застосування самохідних комплексів, використання комбайнів для проведення підняттявих не може повною мірою сприяти вирішенню проблеми підвищення ефективності підготовки блоків до очисних робіт. Тривалість підготовки блоків і терміни введення їх в експлуатацію багато в чому залежать від швидкості проведення підняттявих. Велика довжина підняттявих виробок, які проводять на шахтах Криворізького басейну та ПрАТ «ЗЗРК», при підготовці блоків або камер до очисних робіт, низька продуктивність і важкі умови праці при їх проведенні, визначають необхідність пошуку в сучасних умовах виробництва технологічних і технічних рішень при руйнуванні гірських порід стосовно проведення підняттявих. Це можливо завдяки розробці та визначенню раціональних параметрів БПР для проведення підняттявих виробок методами підривання шпурових і свердловинних зарядів, а також застосування при їх спорудженні емульсійних вибухових речовин (ЕВР) вітчизняного виробництва, що є абсолютно безпечні у транспортуванні та зберіганні [9, 10], екологічно чисті [11–16] та економічно вигідні [17].

3. ПАРАМЕТРИ БПР ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ПІДНЯТТЄВИХ

Розрахунок параметрів БПР при проведенні підняттеєвих методом шпурових зарядів виконується у такій самій послідовності, як і при проведенні горизонтальних гірничих виробок, але відрізняється тим, що при проведенні підняттеєвих відсутня група відбійних шпурів. Це пов'язано з тим, що площа підняттеєвих має невелике значення. Тому у деяких конструкціях врубу, для розширення його площі використовуються допоміжні шпури. Із практичного досвіду при проведенні підняттеєвих за допомогою шпурів використовують прямі призматичні вруби, конструкцію яких подано на рис. 1.

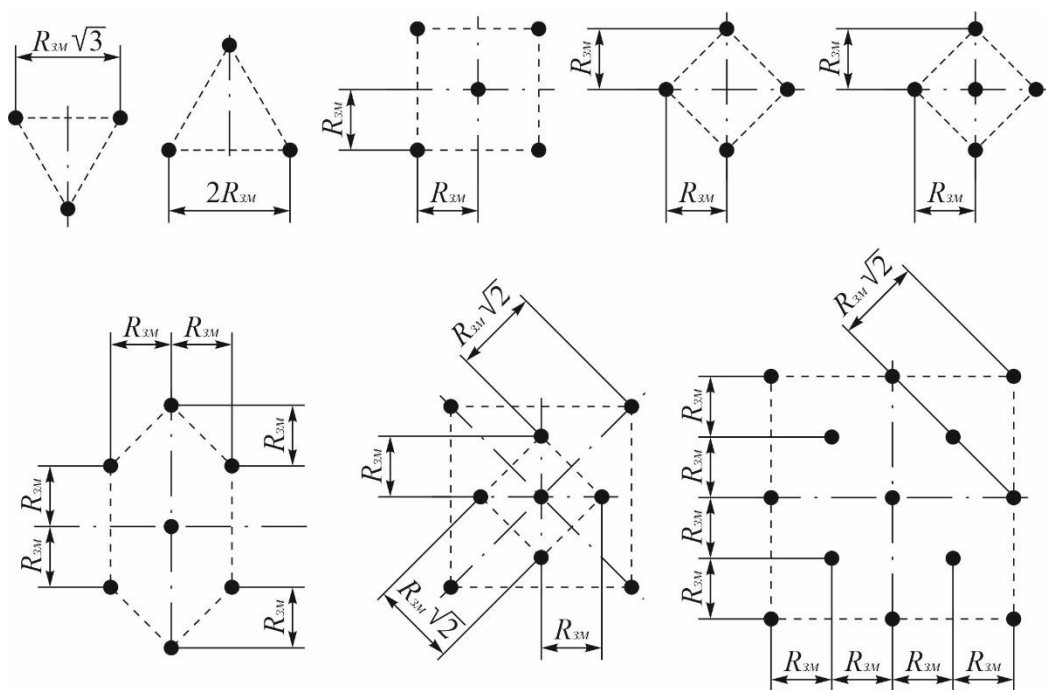


Рисунок 1. Конструкція прямих призматичних врубів, що використовують при проведенні підняттеєвих методом шпурових зарядів

За результатами досліджень, що подано у роботах [18–20] пробивна відстань між шпурами прямого врубу дорівнює величині радіусу зони змінання та визначається за формулою

$$R_{3M} = 0,5 \cdot d \cdot \sqrt{1 + \frac{\rho \cdot D^2 \cdot K_{\partial 3}}{2 \cdot \sigma_{cm} \cdot K_c \cdot K_y}}, \text{ м}, \quad (1)$$

де d – діаметр шпуру, м; ρ – щільність (густина) ВР, кг/м³; D – швидкість детонації ВР, м/с; $K_{\partial 3}$ – коефіцієнт, що враховує зміну тиску продуктів вибуху на стінки шпуру в залежності від діаметру заряду ВР.

$$K_{\partial 3} = (d_3 / d)^3, \quad (2)$$

де d_3 – діаметр заряду ВР, м; K_c – коефіцієнт структурного ослаблення масиву; K_y – коефіцієнт ущільнення порід під дією гірського тиску

$$K_y = (\gamma + 0,1 \cdot H) / \gamma, \quad (3)$$

де γ – щільність порід, кг/м³; H – глибина гірничих робіт, м.
Мінімальна кількість шпурів у врубі становить

$$N_{gp} = 0,144 \cdot (l_{uu} \cdot \eta)^{0,91} \cdot R_{зм}^{-2}, \text{ шт.}, \quad (4)$$

де l_{uu} – довжина комплекту шпурів, що дорівнює 1,7 – 2,2 м.
Розрахункові питомі витрати ВР визначаються за формулою

$$q = 0,01 \cdot \sigma_{cm} \cdot f_c \cdot k_{зам} \cdot e, \text{ кг/м}^3, \quad (5)$$

де σ_{cm} – межа міцності порід на стискання, МПа; f_c – коефіцієнт, що враховує структуру породи, який змінюється у межах 0,8–2,0; e – коефіцієнт відносної працездатності ВР, розраховується згідно методики, що подано у роботі [21]; $k_{зам}$ – коефіцієнт затиску породи, який змінюється у межах 1,2–1,5.

Об'єм висадженої породи у масиві визначаються за виразом

$$V = S_{np} \cdot l_{uu}, \text{ м}^3, \quad (6)$$

де S_{np} – площа піднятцевого у проходці, м².

Розрахункова кількість ВР на вибій становить

$$Q = q \cdot V, \text{ кг.} \quad (7)$$

Так само, як і при проведенні горизонтальних виробок, враховуючи умови роботи шпурових зарядів та їх розташування відносно відкритої поверхні, ЛНО для шпуру дорівнює величині радіусу зони інтенсивного подрібнення та визначається за формулою, що подано у роботах [20, 22]

$$W = R_{зм} \cdot \left(1 + \frac{\rho \cdot D^2 \cdot d \cdot K_{d3}}{8 \cdot R_{зм} \cdot \sigma_{cm} \cdot K_c \cdot K_y} \right)^{0,5}, \text{ м.} \quad (8)$$

Кількість контурних шпурів

– за шириною піднятцевого прямокутної та квадратної форми

$$N_b = ((B_{np} - 2 \cdot \Delta_o) / W) + 1, \text{ шт.}; \quad (9)$$

– за довжиною піднятцевого прямокутної та квадратної форми

$$N_h = ((H_{np} - 2 \cdot \Delta_o) / W) - 1, \text{ шт.}; \quad (10)$$

– для піднятцевого круглої форми

$$N_k = (2 \cdot \pi \cdot (0,5 \cdot D_{np} - \Delta_o)) / W, \text{ шт.}, \quad (11)$$

де Δ_o – відстань від контуру виробки до лінії контурних шпурів, що дорівнює величині радіусу зони змінання R_{zm} , за даними практичного досвіду ця відстань змінюється у межах 0,15–0,25 м; D_{np} – діаметр піднятцевого у проходці, м.

Загальна кількість контурних шпурів для піднятцевих прямокутної та квадратної форми складає

$$N_k = 2 \cdot (N_b + N_h), \text{ шт.} \quad (12)$$

Фактична відстань між контурними шпурами

– за шириною піднятцевого прямокутної та квадратної форми

$$a_b = (B_{np} - 2 \cdot \Delta_o) / (N_b - 1), \text{ м}; \quad (13)$$

– за довжиною піднятцевого прямокутної та квадратної форми

$$a_h = (H_{np} - 2 \cdot \Delta_o) / (N_h + 1), \text{ м}; \quad (14)$$

– для піднятцевого круглої форми

$$a = \sin(180 / N_k) \cdot (D_{np} - 2 \cdot \Delta_o), \text{ м}. \quad (15)$$

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

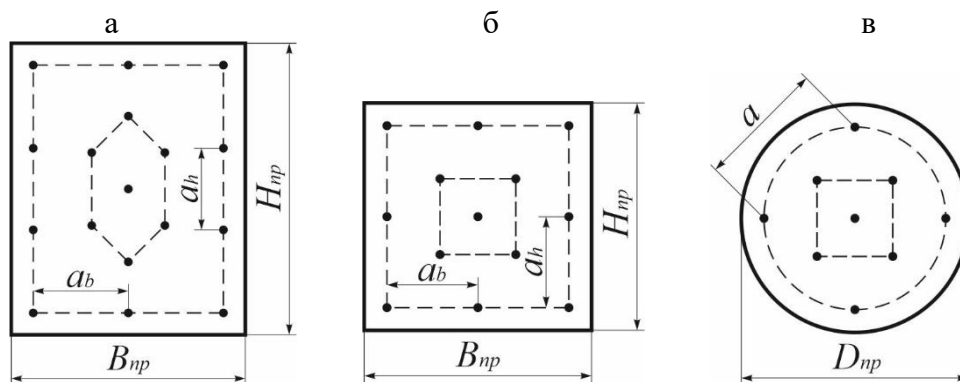


Рисунок 2. Розрахункова схема розташування шпурів у вибою піднятцевої виробки прямокутної (а), квадратної (б) і круглої (в) форми

Загальна кількість шпурів у вибою піднятцевої виробки складе

$$N = N_{ep} + N_k, \text{ шт.} \quad (16)$$

Середня величина заряду на один шпур знаходиться за формулою

$$Q_{ш} = Q / N, \text{ кг.} \quad (17)$$

Величину заряду у врубівому та контурному шпурі знаходиться за виразом

$$Q_z = K_n \cdot Q_{ш}, \text{ кг,} \quad (18)$$

де K_n – коефіцієнт, що враховує збільшення або зменшення заряду ВР у шпурі в залежності від його призначення: для врубівому шпурі $K_n = 1,1-1,2$, для контурного шпурі $K_n = 0,9-1,0$.

При використанні патрованої ВР величину заряду корегують з урахуванням маси патрону ВР.

Фактичні витрати ВР на вибій становлять

$$Q_{ф} = N_{ep} \cdot Q_{ep} + N_k \cdot Q_k, \text{ кг.} \quad (19)$$

Фактичні питомі втрати ВР знаходяться за формулою

$$q_{ф} = \frac{Q_{ф}}{S_{np} \cdot l_{ш} \cdot \eta}, \text{ кг/м}^3. \quad (20)$$

У якості прикладу розглянемо результати розрахунку параметрів БПР при проведенні піднятцевої виробки (дучки) по руді міцністю 90 МПа в умовах шахти «Ювілейна» ПрАТ «Суша Балка» за розробленою методикою подано у табл. 1.

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

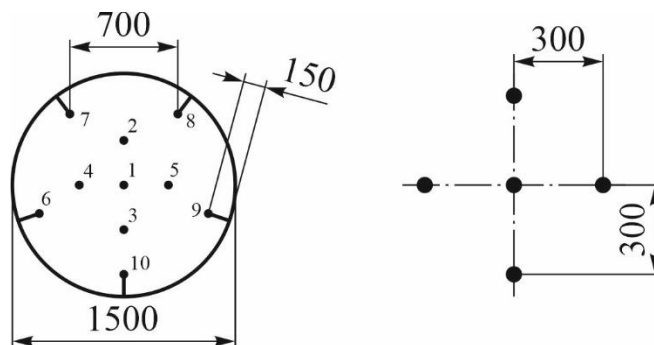


Рисунок 3. Розташування шпурів у вибою дучки та конструкція врубу

Таблиця 1. Результати розрахунку параметрів БПР при проведенні підняттяєвої виробки в умовах шахти «Ювілейна» ПрАТ «Суха Балка»

Найменування	Один. виміру	Показник
1	2	3
Коефіцієнт ущільнення масиву, K_y	ч.о.	1,046
Коефіцієнт структурного ослаблення масиву, K_c	ч.о.	0,80
Розрахункові питомі витрати ВР, q	кг/м ³	3,0
Розрахункова кількість ВР на вибій, Q	кг	9,72
Величина радіусу зони зминання, R_{zm}	м	0,3
Розрахункова ЛНО для шпуру, W	м	0,8
Кількість врубових шпурів, $N_{вр}$	шт.	5
Кількість контурних шпурів, N_k	шт.	5
Загальна кількість шпурів, N	шт.	10
Середня величина заряду на шпур, $Q_{ш}$	кг	0,97
Діаметр патрону ЕВР Україніт-П-СА	м	0,032
Маса патрону ЕВР Україніт-П-СА	кг	0,25
Довжина патрону ЕВР Україніт-П-СА	м	0,28
Величина заряду:		
– для врубового шпуру, $Q_{вр}$	кг	1,25
– для контурного шпуру, Q_k	кг	1,0
Фактичні витрати ВР на вибій, Q_f	кг	10,25
Довжина заряду з П-Б:		
– врубового шпуру, $l_{з,вр}$	м	1,40
– контурного шпуру, $l_{з,к}$	м	1,12
Фактичні питомі втрати ВР, q_f	кг/м ³	3,2

Розрахунок параметрів БПР при проведенні підняттяєвих способом секційного висадження свердловин пропонується виконувати у наступній послідовності. Виконавши аналіз типових паспортів БПР, а також технологію проведення підняттяєвих секційним висадженням свердловин в умовах шахт ПрАТ «ЗЗРК», було встановлено емпіричну залежність мінімальної кількості свердловин у врубі в залежності від межі міцності порід або руди на стискання

$$N_{вр} = 0,5 \cdot k_s \cdot \sqrt{\sigma_{cm}}, \text{ шт.}, \quad (21)$$

де k_s – коефіцієнт, що враховує форму і площу поперечного перерізу: для підняттяєвих круглої форми коли $S_{np} = 2,5$ і $3,8$ м² $k_s = 0,2$, для підняттяєвих квадратної та прямокутної форм коли $S_{np} = 1,7$ і $2,25$ м² $k_s = 0,2$, коли $S_{np} = 4$ і 6 м² $k_s = 1,0$.

За результатами досліджень [18–20] пробивна відстань між свердловинами врубу дорівнює величині радіусу зони зминання, що визначається за формулою (1). Для підняттяєвих круглої, квадратної та прямокутної форм при їх проведенні методом секційного висадження свердловин найбільшого поширення отримало наступне розташування свердловин у врубі, що подано на рис. 4.

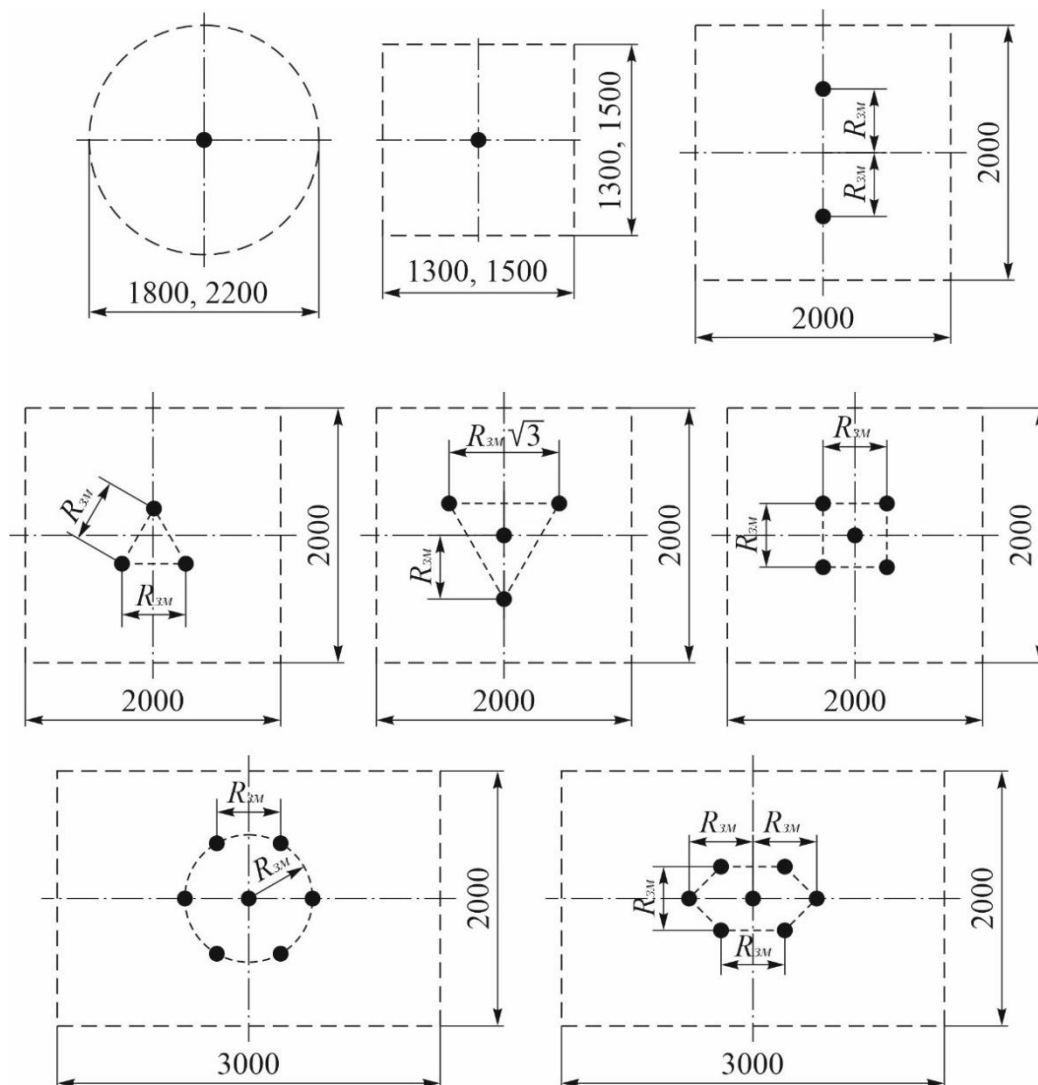


Рисунок 4. Розташування свердловин у врубі при проведенні підняттясвих

У зв'язку з невеликими площами поперечного перерізу, як і при проведенні підняттясвих методом шпурових зарядів, так і при секційному висадженні свердловин буде відсутня група відбійних свердловин. Враховуючи умови роботи свердловинних зарядів у затиснутому середовищі та їх розташування відносно відкритої поверхні ЛНО для свердловини буде дорівнювати величині радіусу зони інтенсивного подрібнення, що визначається за формулою (8).

Кількість контурних свердловин

– за шириною підняттясвого прямокутної та квадратної форми

$$N_b = (B_{np} / W) + 1, \text{ шт.}; \quad (22)$$

– за довжиною підняттясвого прямокутної та квадратної форми

$$N_h = (H_{np} / W) - 1, \text{ шт.}; \quad (23)$$

– для підняттявого круглої форми

$$N_{\kappa} = (\pi \cdot D_{np}) / W, \text{ шт.} \quad (24)$$

Загальна кількість контурних свердловин для підняттявих прямокутної та квадратної форми визначається за формулою (12).

Фактична відстань між контурними свердловинами

– за шириною підняттявого прямокутної та квадратної форми

$$a_b = B_{np} / (N_b - 1), \text{ м;} \quad (25)$$

– за довжиною підняттявого прямокутної та квадратної форми

$$a_h = H_{np} / (N_h + 1), \text{ м;} \quad (26)$$

– для підняттявого круглої форми

$$a = \sin(180 / N_{\kappa}) \cdot D_{np}, \text{ м.} \quad (27)$$

Врубів та контурні свердловини у вибою підняттявої виробки розташовують згідно розрахункової схеми, що подано на рис. 5.

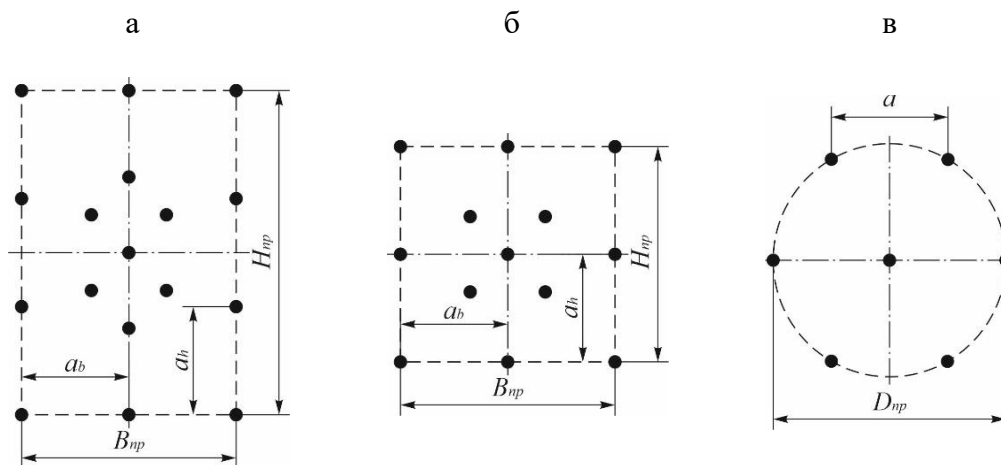


Рисунок 5. Розрахункова схема розташування свердловин у вибою підняттявої виробки прямокутної (а), квадратної (б) і круглої (в) форми

Загальна кількість свердловин у вибою підняттявого визначається за формулою (16). Величина заряду на одну свердловину

– для розсіпних ВР або наливних ЕВР

$$Q_c = 0,25 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot (l_c - l_{заб} - l_{но}) \cdot \rho, \text{ кг;} \quad (28)$$

– для патронованих ВР

$$Q_c = n_{nam} \cdot m_{nam}, \text{ кг}, \quad (29)$$

де l_c – довжина секції, що дорівнює 2–4 м; $l_{заб}$ – довжина забивки, що дорівнює 1 м; m_{nam} – маса патрону ВР, кг; n_{nam} – кількість патронів ВР з урахуванням патрона-бойовика (П-Б)

$$n_{nam} = (l_c - l_{заб}) / l_{nam}, \text{ шт.}, \quad (30)$$

де l_{nam} – довжина патрону ВР, м.

Отриману кількість патронів ВР округлюють до цілого числа.

Фактичні витрати ВР на вибій

$$Q_\phi = N \cdot Q_c, \text{ кг}. \quad (31)$$

Фактичні питомі втрати ВР

$$q_\phi = Q_\phi / (S_{np} \cdot l_c), \text{ кг/м}^3. \quad (32)$$

У якості прикладу розглянемо результати розрахунку параметрів БПР проведення піднятцевої виробки у породах міцністю 140–150 МПа в умовах ПрАТ «ЗЗРК» за запропонованою методикою, що подано у табл. 2.

Таблиця 2. Результати розрахунку параметрів БПР проведення піднятцевої виробки в умовах ПрАТ «ЗЗРК»

Найменування	Один. виміру	Показник
Коефіцієнт ущільнення масиву, K_y	ч.о.	1,021
Коефіцієнт структурного ослаблення масиву, K_c	ч.о.	0,8
Величина радіусу зони змінання, $R_{зм}$	м	0,5
Розрахункова ЛНО, W	м	1,3
Кількість врубових свердловин, $N_{вр}$	шт.	7
Кількість контурних свердловин, N_k	шт.	10
Загальна кількість свердловин, N	шт.	17
Довжина заряду з П-Б	м	2,0
Величина заряду на одну свердловину, Q_c	кг	16,3
Фактичні витрати ВР на вибій, Q_ϕ	кг	277,1
Фактичні питомі втрати ВР, q_ϕ	кг/м ³	15,4

За результатами розрахунку було викреслено розташування свердловин у вибої відрізного піднятцевого та конструкція врубу, що подано на рис. 6.

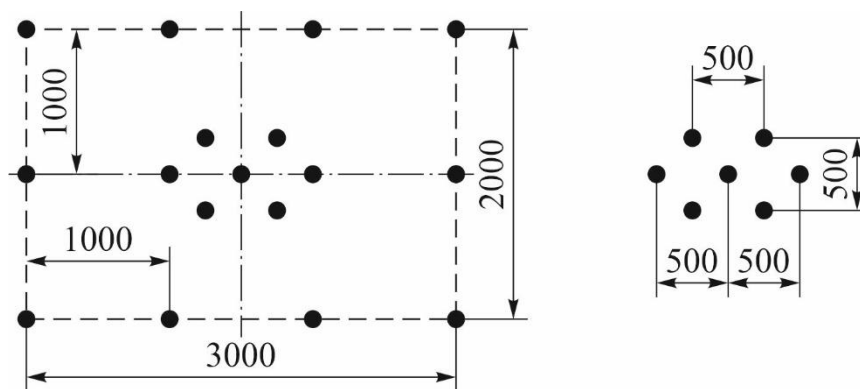


Рисунок 6. Розташування свердловин у вибою відрізного підняттяєвого та конструкція врубу

Розрахунок параметрів БПР при проведенні підняттяєвих виробок для шахт ПрАТ «Суха Балка» та ПрАТ «ЗЗРК» дозволить раціоналізувати розташування шпурів або свердловин у вибою підняттяєвих, що призведе до ресурсозбереження при їх проведенні.

4. ВИСНОВОК

За отриманими упродовж 2011–2022 рр. науково-практичними результатами, що подано у роботах [18, 23–25], було розроблено принципово нові методики розрахунку параметрів БПР для проведення підняттяєвих виробок за допомогою методів шпурових і свердловинних зарядів. В основі методик покладено розрахунок мінімальної кількості шпурів або свердловин у врубі, визначення відстані між ними за величиною радіусу зони змінання. Розташування контурних шпурів або свердловин визначається за допомогою величини радіусу зони інтенсивного подрібнення. Нові методики розрахунку параметрів БПР для проведення підняттяєвих гірничих виробок дозволяють раціоналізувати розташування шпурів або свердловин у вибої підняттяєвих, що призведе до ресурсозбереження при їх проведенні та підвищить швидкість їх проходки.

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. Косенко А.В., Тарасютін В.М. (2022). Обґрунтування раціональних технологій проведення підготовчо-нарізних підняттяєвих виробок у видобувних блоках залізорудних шахт, що забезпечують підвищення стійкості відслоненого масиву. *Вісті Донецького гірничого інституту*, 1(50), 40-46. <https://doi.org/10.31474/1999-981X-2022-1-40-46>
3. Khomenko, O., Kononenko, M., & Lyashenko, V. (2021). Improvement of safety for the underground vertical workings. *Occupational Safety in Industry*, (2), 41-48. <http://doi.org/10.24000/0409-2961-2021-2-41-48>

4. Федоренко, П.И., Мельникова, И.Е., Чепурной, В.И., Ляш, С.И. (2015). О возможности снижения трудовых энерго- и ресурсозатрат при подготовке блоков к очистным работам. *Збірник наукових праць Науково-дослідного гірничорудного інституту Державного вищого навчального закладу Криворізький національний університет*, (55), 152-156.
5. Федоренко, П.И., Чепурной, В.И., Ляш, С.И. (2016). Анализ состояния проходки восстающих выработок при подготовке на шахтах Кривбасса блоков к очистной выемке. *Збірник наукових праць Науково-дослідного гірничорудного інституту Державного вищого навчального закладу Криворізький національний університет*, (56), 103-108.
6. Усатый, В.Ю., Кистрин, С.Г., Близиюков, В.Г. (2001). Проходка восстающих горных выработок в условиях ЗАО «Запорожский ЖРК». *Сборник научных трудов ГНИГРИ*, 64-71.
7. Усатый, В.Ю., Кистрин, С.Г., Усатый, В.В. (2001). Обоснование способа проведения восстающих горных выработок при системах разработки высокими камерами. *Науковий вісник НГАУ*, (3), 18-21.
8. Милехин, Г.Г. (2004). *Вскрытие и подготовка рудных месторождений*.
9. 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>
10. 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>
11. 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>
12. 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>
13. 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>
14. 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>
15. 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>
16. Khomenko, O., Kononenko, M., Myronova, I., & Sudakov, A. (2018). Increasing ecological safety during underground mining of iron-ore deposits. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, (2), 29-38. <http://doi.org/10.29202/nvngu/2018-2/3>
17. 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>
18. 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>

19. Kononenko, M., Khomenko, O. (2021). Mathematic simulation for the rock mass destruction by blasting. *Physical & Chemical Geotechnologies – 2021*, 27-37. <https://doi.org/10.15407/pcgt.21.05>
20. Кононенко, М.М., Хоменко, О.Є., Косенко, А.В. (2022). Чисельне моделювання лінії найменшого опору при підриванні зарядів. *Збірник наукових праць НГУ*, (69), 43-57. <https://doi.org/10.33271/crpnmu/69.043>
21. 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>
22. Кононенко, М.М., Хоменко, О.Є., Коробка, Є.О. (2021). Параметри буропідри-вних робіт для проведення гірничих виробок. *Фізико-технічні проблеми горного виробництва*, (23), 54-71. <https://doi.org/10.37101/ftpgp23.01.004>
23. 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>
24. 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>
25. Kononenko M., Khomenko O., Myronova I., Kovalenko I. (2022). Economic and environmental aspects of using mining equipment and emulsion explosives for ore mining. *Mining Machines*, 40(2), 88-97. <https://doi.org/10.32056/KOMAG2022.2.4>

REFERENCES

1. Khomenko, O., Kononenko, M., & Savchenko, M. (2018). *Technology of underground mining of ore deposits*. <http://doi.org/10.33271/dut.001>
2. Kosenko A.V., Tarasiutin V.M. (2022). Obgruntuvannia ratsionalnykh tekhnolohii provedennia pidhotovcho-nariznykh pidniattievnykh vyrobok u vydobuvnykh blokakh zalizorudnykh shakht, shcho zabezpechuiut pidvyshchennia stiikosti vidslonenooho masyvu. *Visti Donetskoho hirnychoho instytutu*, 1(50), 40-46. <https://doi.org/10.31474/1999-981X-2022-1-40-46>
3. Khomenko, O., Kononenko, M., & Lyashenko, V. (2021). Improvement of safety for the underground vertical workings. *Occupational Safety in Industry*, (2), 41-48. <http://doi.org/10.24000/0409-2961-2021-2-41-48>
4. Fedorenko, P.Y., Melnykova, Y.E., Chepurnoi, V.Y., Liash, S.Y. (2015). O vozmozhnostiakh snyzheniia trudovykh enerho- y resursozatrata pry podhotovke blokov k ochystnym rabotam. *Zbirnyk naukovykh prats Naukovo-doslidnoho hirnychorudnoho instytutu Derzhavnoho vyshchoho navchalnoho zakladu Kryvorizkyi natsionalnyi universytet*, (55), 152-156.
5. Fedorenko, P.Y., Chepurnoi, V.Y., Liash, S.Y. (2016). Analiz sostoiannya prokhodky vosstaiushchykh vyrabotok pry podhotovke na shakhtakh Kryvbassa blokov k ochystnoi vyemke. *Zbirnyk naukovykh prats Naukovo-doslidnoho hirnychorudnoho instytutu Derzhavnoho vyshchoho navchalnoho zakladu Kryvorizkyi natsionalnyi universytet*, (56), 103-108.
6. Usatyy, V.Yu., Kistrin, S.G., Bliznyukov, V.G. (2001). Prokhodka vosstaiushchikh gor-nykh vyrabotok v usloviyakh ZAO «Zaporozhskiy ZhRK». *Sbornik nauchnykh trudov GNIGRI*, 64-71.

7. Usatyy, V.Yu., Kistrin, S.G., Usatyy, V.V. (2001). Obosnovanie sposoba provede-niya vosstayushchikh gornykh vyrabotok pri sistemakh razrabotki vysokimi kamerami. *Naukoviy visnik NGAU*, (3), 18-21.
8. Milekhin, G.G. (2004). *Vskrytie i podgotovka rudnykh mestorozhdeniy*.
9. 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>
10. 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>
11. 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>
12. 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>
13. 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>
14. 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>
15. 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>
16. Khomenko, O., Kononenko, M., Myronova, I., & Sudakov, A. (2018). Increasing ecological safety during underground mining of iron-ore deposits. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, (2), 29-38. <http://doi.org/10.29202/nvngu/2018-2/3>
17. 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>
18. 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>
19. Kononenko, M., Khomenko, O. (2021). Mathematic simulation for the rock mass destruction by blasting. *Physical & Chemical Geotechnologies – 2021*, 27-37. <https://doi.org/10.15407/pcgt.21.05>
20. Kononenko, M.M., Khomenko, O.Ye., Kosenko, A.V. (2022). Chyselne modeliuвання linii naimenshoho oporu pry pidryvanni zariadiv. *Zbirnyk naukovykh prats NHU*, (69), 43–57. <https://doi.org/10.33271/crpnmu/69.043>
21. 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>
22. Kononenko, M.M., Khomenko, O.Ye., Korobka, Ye.O. (2021). Parametry burpidryvnykh robit dlia provedennia hirnychykh vyrobok. *Fizyko-tekhnichni problemy hirnychoho vyrobnytstva*, (23), 54-71. <https://doi.org/10.37101/ftpgp23.01.004>
23. 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>
24. 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>

25. Kononenko M., Khomenko O., Myronova I., Kovalenko I. (2022). Economic and environmental aspects of using mining equipment and emulsion explosives for ore mining. *Mining Machines*, 40(2), 88-97. <https://doi.org/10.32056/KOMAG2022.2.4>

ABSTRACT (IN UKRAINIAN)

Мета. Розробка методики розрахунку параметрів буропідричних робіт (БПР) для проведення підняттяєвих методами шпурових і свердловинних зарядів з урахуванням діаметру заряду, детонаційних характеристик вибухових речовин (ВР), фізико-механічних властивостей порід, їх тріщинуватості й ущільнення під дією гірського тиску.

Методика. У роботі використано комплексний методичний підхід, що включає розробку методики визначення параметрів БПР з урахуванням діаметру заряду ВР, міцності порід на стискання, коефіцієнтів структурного ослаблення та ущільнення під дією гірського тиску.

Результати. Розроблено нову методику розрахунку раціональних параметрів БПР при проведенні підняттяєвих, в яких відстань між шпурами або свердловинами у врубі визначається за радіусом зони зминання, а для контурних – за радіусом зони інтенсивного подрібнення.

Наукова новизна. Параметри розташування шпурів або свердловин у вибої підняттяєвого реалізовано за ступеневу залежністю зміни лінії найменшого опору (ЛНО) залежно від діаметру заряду, детонаційних характеристик ВР, фізико-механічних властивостей гірських порід, їх тріщинуватості й ущільнення під дією гірського тиску.

Практична цінність. Використання нової методики розрахунку раціональних параметрів БПР для проведення підняттяєвих дозволить раціоналізувати розташування шпурів або свердловин у вибої підняттяєвих, що призведе до ресурсозбереження при їх проведенні.

Ключові слова: шпур, свердловина, 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 Transport systems and energy-mechanical complexes 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

Kosenko Andrii, Candidate of Technical Sciences, Branch for Physics of Mining Processes of the M.S. Poliakov Institute of Geotechnical Mechanics of the National Academy of Sciences of Ukraine, 15 Simferopol's'ka Street, Dnipro, Ukraine, 49005. E-mail: andreylvladimirovich@email.ua.