

9. Про затвердження Загальнодержавної програми розвитку мінерально-сировинної бази України на період до 2030 року. Закон України № 3268-VI від 21.04.2011// <https://zakon.rada.gov.ua/laws/card/3268-17>

10. Рудько Г.І., Озерко В.М., Шепель І.В. Геологія і геолого-економічна оцінка родовищ каоліну України. За ред. Г.І. Рудька. Київ. 2015.

11. Чернієнко Н.М. Комплексне використання руд Мазурівського родовища, Приазов'я, <http://ea.donntu.org:8080/jspui/bitstream/123456789/7226/1/215-222.pdf>

12. Feldspar Statistics and Information. National Minerals Information Center. USGS// <https://www.usgs.gov/centers/nmic/feldspar-statistics-and-information>

Рукопис подано до редакції 27.04.22

УДК 622.235: 622.271

Є.О. НЕСМАШНИЙ, д-р техн. наук, проф., Г.І. ТКАЧЕНКО, канд. техн. наук, доц.,
М.В. МИХАЙЛЕНКО, студентка, Криворізький національний університет

ОПЕРАТИВНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ВІДСТАНІ РОЗЛЬОТУ КУСКІВ ГІРСЬКОЇ ПОРОДИ ПРИ МАСОВИХ ВИБУХАХ НА КАР'ЄРАХ КРИВБАСУ

Мета. Метою даної роботи є розроблення методу оперативного визначення максимально можливої відстані розльоту кусків гірської породи в залежності від технологічних параметрів буро-вибухових робіт при проектуванні та проведенні масових вибухів на кар'єрах. Отримання результатів розрахунків для створення діаграми розльоту кусків гірської породи для гірничо-геологічних умов кар'єрів Криворізького залізрудного родовища з метою запобігання шкоди від вибухових процесів і підвищення безпеки відкритих гірничих робіт.

Методи дослідження. Поставлені завдання базуються на комплексному методі досліджень, що включає: аналіз науково дослідних робіт по буро вибуховим роботам на кар'єрах Кривбасу та їх моніторингу; результати інженерно-геологічних вишукувань залізрудного родовища, використання емпіричних законів гірничої механіки; комп'ютерні технології й обчислювальні програми; оброблення результатів досліджень.

Наукова новизна. Вперше, отримано результати, які дозволяють визначити сейсдобезпечні параметри масових вибухів й науково обґрунтувати ймовірні негативні геомеханічні процеси від руйнування гірничої породи у підричних блоках. Розроблена методика розрахунків може бути корисною для подальшого розвитку теоретичних положень щодо буро вибухових відкритих гірничих робіт з метою підвищення ефективності й безпеки на кар'єрах Кривбасу.

Практичне значення. Отримані результати дозволяють доповнити існуючі нормативні норми й рекомендації щодо границь небезпечної за розльотом кусків гірської породи в зонах масових вибухів на кар'єрах; наочно зобразити закономірності розльоту уламків породи для різних значень коефіцієнту міцності за шкалою Протод'яконова залежно від величини колонки свердловинного заряду та відстані між вибуховими свердловинами. Виконані розрахунки надають реальні передумови для створення алгоритму оптимального управління комплексом буро вибухових робіт для конкретних інженерно-геологічних умов кар'єрів Кривбасу.

Результати. З метою підвищення ефективності проектування і проведення масових вибухів, належного та вчасного контролю дотримання вимог правил безпеки, запропоновано використовувати спеціальні діаграми розрахунку відстаней розльоту уламків гірської породи залежно від гірничо-геологічних умов кар'єрів.

Ключові слова: відкриті гірничі роботи, кар'єр, буріння свердловини, буро-вибухові роботи, відстань розльоту, масові вибухи.

doi:10.31721/2306-5435-2022-1-110-161-168

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Основна особливість буро вибухових робіт на кар'єрах Криворізького регіону полягає в тому, що територія родовища забудована житловими будинками та промисловими спорудами, тому завжди актуальним, при проектуванні таких робіт, є питання визначення безпечних зон, в тому числі по розльоту кусків гірської породи. Це дає змогу запобігти механічному руйнуванню гірничого обладнання, житлових і промислових споруд уламками гірської породи, або ж звести до мінімуму ці негативні прояви. При цьому визначення таких безпечних відстаней іноді треба виконувати дуже оперативно безпосередньо на вибуховому блоці, де не має можливості проводити будь-які математичні розрахунки [1-3]. Також практично на всіх кар'єрах виконуються роботи по їх реконструкції, пов'язані з необхідністю розкриття добувних горизонтів на значних глибинах. Особливістю цих робіт є те, що вони ведуться в умовах, коли розміри робочих зон обмежені, і планові масові вибухи необхідно проводити на незначній відстані від житлових будинків та споруд соціально культурного призначення. Так одним з важливих елементів реконструкції транспорт-

ної схеми кар'єру «ПівдГЗК» є будівництво траншеї глибокого вводу залізничного транспорту для створення нового транспортного зв'язку нижніх горизонтів з промплощадкою. Будівництво траншеї відбувається в межах існуючого контуру кар'єру. У цих умовах особливо актуальною є задача достовірного визначення безпечних параметрів вибухових робіт з урахуванням використання сучасних вибухових речовин, систем ініціювання вибуху, врахування кінетики зруйнованої гірської породи [5,6].

Саме тому для підвищення ефективності проектування масових вибухів, належного та вчасного контролю дотримання вимог правил безпеки пропонується використовувати спеціальні діаграми розрахунку відстаней розльоту уламків гірської породи залежно від умов проведення вибуху. Розв'язанню такої задачі і присвячена дана наукова робота.

Аналіз досліджень і публікацій. Розробкою сейсмічно безпечних способів ведення бурі вибухових робіт займалися та займаються значна кількість вчених, цьому питанню у гірництві присвячено багато фундаментальних праць, науково-дослідних і практичних робіт [7-9, 13]. Найвагомий внесок у вирішенні цих задач належить відомим Криворізьким ученим: Ю.П. Капленку, В.О. Колосову, В.В., Мецу Ю.С., Перегудову, П.Й. Федоренко, О.В. Шапуріну та ін.

Спосіб розрахунку границь небезпечних зон по розльоту окремих кусків гірської породи при підриванні свердловинних зарядів на кар'єрі запропоновано у [10 - 12]. Згідно даної методики безпечна відстань R по розльоту окремих кусків гірської породи може визначатися за наступною формулою, м

$$R = 1250 \cdot r_3 \sqrt{\frac{f}{1+r_{заб}} \cdot \frac{d}{a}}, \quad (1)$$

де r_3 - коефіцієнт заповнення свердловини вибуховою речовиною; $r_{заб}$ - коефіцієнт заповнення свердловини забивкою; f - емпіричний коефіцієнт міцності гірської породи за шкалою проф. М.М. Протод'яконова, який залежить від фізико-механічних властивостей породи; d - діаметр вибухової свердловини, м; a - відстань між вибуховими свердловинами в ряду чи між рядами, м.

При цьому коефіцієнт заповнення свердловини вибуховою речовиною r_3 визначається як відношення довжини заряду в свердловині l_3 до глибини цієї свердловини L

$$r_3 = \frac{l_3}{L}; \quad (2)$$

коефіцієнт заповнення свердловини забивкою $r_{заб}$ можна визначити як відношення довжини забивки $l_{заб}$ до довжини верхньої частини свердловини L_6 , яка не містить вибухової речовини

$$r_{заб} = \frac{l_{заб}}{L_6} \quad (3)$$

Постановка завдання. На підставі вищевикладеного, авторами сформульовано мету даної роботи: розроблення методу оперативного визначення максимально можливої відстані розльоту кусків гірської породи при проектуванні та проведенні масових вибухів на кар'єрах Криворізького залізничного родовища.

Викладення матеріалу та результати. Будемо вважати, що відстані, які є максимально можливими по розльоту окремих кусків породи, вже відомі. Тоді, використовуючи формули (1) та (2), можна встановити відповідність між цими відстанями та величиною колонки свердловинного заряду

$$l_3 = \frac{R \cdot L}{1250 \sqrt{\frac{f}{1+r_{заб}} \cdot \frac{d}{a}}}. \quad (4)$$

Отримана формула однозначно визначає максимально допустиму висоту колонки свердловинного заряду, для проведення безпечного ініціювання вибухової речовини, внаслідок якого уламки гірської породи розлетяться не далі, ніж на відстань R від даної свердловини.

У тому випадку, коли максимально допустиме значення l_3 виходить менше, чим того потребує якісне подрібнення гірничої маси, необхідно здійснювати пошарове підривання горизонту.

Практика проведення вибухових робіт на кар'єрах Кривбас («ПівнГЗК», «ПівдГЗК») [5,6]. На кар'єрах практично вся гірнична маса видобувається з застосуванням буро-вибухових робіт. Це обумовлено тим, що як розкриті так і залізна руда являють собою міцні і надміцні гірські породи, з коефіцієнтом міцності 14-16, а на деяких ділянках кар'єрного поля міцність пород досягає 18-20 за шкалою Протодяконова. Бурові роботи на кар'єрах Кривбасу проводяться з використанням станків шарошечного буріння, які дозволяють отримувати вибухові свердловини глибиною 4-32 м, діаметром 253 мм (станки СБШ-250) або глибиною 4-33 м, діаметром 165 мм (станки фірми Atlas Copco Roc L8). Висота уступів складає 15 м, а кут нахилу 55° («ПівдГЗК»). Вибуховий блок має довжину у середньому 200-400 м, ширину 15-20 м. На блоці розміщується від 2 до 7 рядів вибухових свердловин, а іноді відбувається й однорядне підривання. Кут нахилу вибухових свердловин, як правило, дорівнює 90°, за винятком нахилених свердловин контурного ряду.

За один масовий вибух підривається 1-2 вибухові блоки довжиною від 50 м до 150 м та шириною від 15 м до 20 м. На блоці розміщується від 2 до 4 рядів вибухових свердловин, а в поодиноких випадках використовується однорядне підривання. При цьому, як правило, свердловини необхідні.

Також запропоновано спосіб виконання буро-вибухових робіт на уступах порід, що включає буріння свердловин з розташуванням їх рядами уздовж верхньої бровки уступу, зарядження їх вибуховою речовиною), монтаж вибухової мережі і коротко-сповільнене підривання зарядів, який відрізняється тим, що ряди для подальшої взаємодії зарядів формують парами, а в перших рядах кожної пари, якщо першим вважати розташований ближче до укосу уступу, формують заряди рихлення згідно з паспортними значеннями відомого способу [7].

Для кар'єрів «ПівнГЗК» стандартна висота уступів становить 10 м. При бурінні станками СБШ-250 діаметр вибухових свердловин дорівнює 250 мм, сітка свердловин становить: (7,0×7,0) м при міцності порід $f=5-7$; (6,5×6,5) м при міцності порід $f=8-12$, а також (6,0×6,0) м при міцності порід $f=12-14$.

Глибина перебуру для станків СБШ-250 становить від 1 м до 3 м залежно від висоти уступу і міцності гірських порід. Стандартна маса одного погонного метру вибухової свердловини діаметром 250 мм становить 46 кг гранульованої вибухової речовини.

За відкритої розробки на практиці використовують безтритиллові вибухові речовини Україн ПП-2, Грамоніт 79/21, Анемікс, Комполайт. Грамоніт 79/21 або гранулотол застосовується, як виняток, для підривання надміцних гірських порід.

Ініціювання вибуху здійснюється за допомогою детонуючого шнура (ДШЕ) або неелектричних систем ініціювання вибуху з уповільненням у свердловині. Такими системами є Нонель, Деталайн, Прімадет, Пріма-ЕРА, «ДШЕ» та ін., що гарантують безпеку, не піддаються впливу сторонньої електрики і грозових розрядів.

У якості забивки використовується скальний щебінь з застосуванням внутрішньої гідро-забивки (у обводнених свердловинах), буровий дріб'язок, відсів гірських порід.

На кар'єрі «ПівдГЗК» вибухові свердловини обводнені, рівень води в свердловинах може суттєво і швидко змінюватись з часом. Сітка свердловин для станків СБШ-250 становить для першого ряду (5,5×10,5) м, для другого і усіх наступних рядів (7,5×6,5) м. Мінімальна відстань від бровки уступу до першого ряду свердловин дорівнює 3 м. Глибина перебуру для станків СБШ-250 становить 3 м. Ємність одного пог. м вибухової свердловини діаметром 253 мм становить 48-70 кг вибухової речовини, а діаметром 165 мм - 21-29 кг. Середня питома витрата вибухівки на 1 м³ гірської маси знаходиться у межах 0,69-1,14 кг/м³. Середній вихід гірської маси з 1 пог.м свердловини становить 37,1-71,8 м³. Коефіцієнт заповнення свердловини вибухівкою - $r_{заб}=0,5-0,7$.

Враховуючи, що вільна від заряду частина свердловини $L_г$ в кар'єрі повністю заповнюється забивкою (а це, згідно формули (3), означає, що коефіцієнт заповнення свердловини забивкою $r_{заб}$ рівний одиниці, оскільки $L_г = l_{заб}$), отримано результати, які представлено в табл. 1.

Результати розрахунку величини колонки свердловинного заряду

Висота уступу: 10м											
Глибина свердловини: 11м											
Діаметр свердловини: 250мм											
Відстань розльоту кусків породи, м	Відстань між вибуховими свердловинами в ряду чи між рядами, м										
	7	7	7	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6	6	6
	Коефіцієнт міцності гірської породи										
	5	6	7	8	9	10	11	12	12	13	14
Величина колонки свердловинного заряду, м											
100	2,9	2,7	2,5	2,2	2,1	2,0	1,9	1,8	1,8	1,7	1,6
150	4,4	4,0	3,7	3,4	3,2	3,0	2,9	2,7	2,6	2,5	2,4
200	5,9	5,4	5,0	4,5	4,2	4,0	3,8	3,7	3,5	3,4	3,3
250	7,4	6,7	6,2	5,6	5,3	5,0	4,8	4,6	4,4	4,2	4,1
300	8,8	8,1	7,5	6,7	6,3	6,0	5,7	5,5	5,3	5,1	4,9
350	10,3	9,4	8,7	7,9	7,4	7,0	6,7	6,4	6,2	5,9	5,7
400	-	10,8	10,0	9,0	8,5	8,0	7,7	7,3	7,0	6,8	6,5
450	-	-	-	10,1	9,5	9,0	8,6	8,2	7,9	7,6	7,3
500	-	-	-	-	10,6	10,0	9,6	9,2	8,8	8,5	8,1
550	-	-	-	-	-	11,0	10,5	10,1	9,7	9,3	9,0
600	-	-	-	-	-	-	-	11,0	10,6	10,1	9,8
650	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11,0	10,6
700	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

На основі отриманих даних, які представлено в табл. 1, побудовано діаграму для оперативного визначення відстаней розльоту кусків гірської породи (рис. 1).

При використанні даної діаграми треба мати на увазі таке:

всі стовпчики діаграми побудовані для висоти уступу в 10 м, глибини свердловини 11 м та діаметру свердловини 250 мм;

кожен з одинадцяти різнокольорових стовпчиків діаграми побудований для конкретних значень відстані між вибуховими свердловинами в ряду чи між рядами та коефіцієнту міцності гірської породи (ці параметри зазначено під кожним стовпчиком);

однаковим кольором зображено частини стовпчиків, що символізують собою діапазон висоти свердловинного заряду, при якій відстань розльоту не перевищуватиме те числове значення, яким даний колір підписано;

кожен кольоровий стовпчик підписано в правій частині діаграми числом, яке визначає максимально можливу відстань розльоту кусків гірської породи при умові, коли величина свердловинного заряду досягає максимального значення при даних відстані між вибуховими свердловинами та міцності гірської породи;

максимальне значення величини колонки свердловинного заряду при даних відстані між вибуховими свердловинами та міцності гірської породи зазначене у верхній частині кожної кольорової ділянки стовпчика;

над кожним стовпчиком міститься підпис, який символізує собою максимальну відстань розльоту кусків гірської породи для даних відстані між вибуховими свердловинами та міцності гірської породи при умові, що величина колонки свердловинного заряду досягне свого максимально можливого значення (на зображеній діаграмі це значення відповідає 11 м).

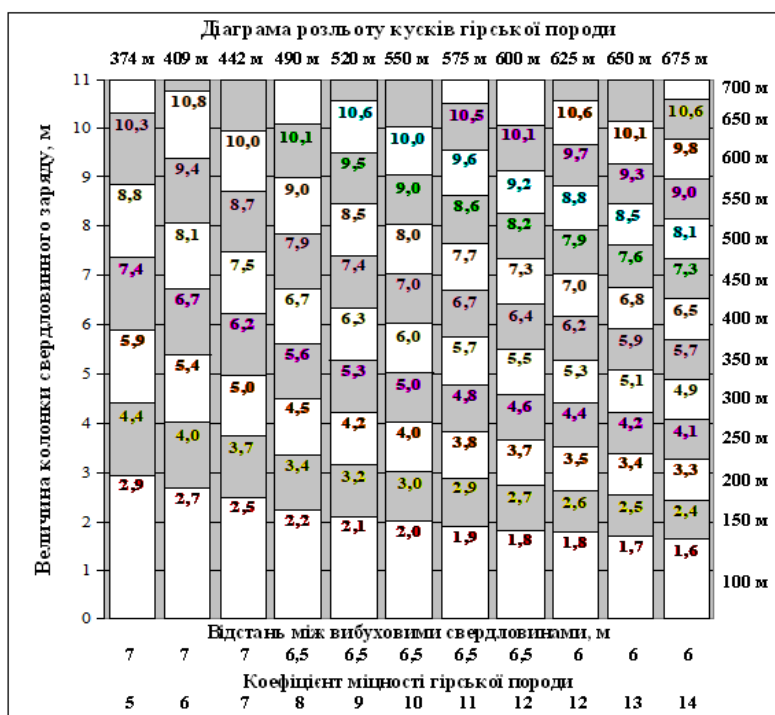


Рис. 1. Діаграма для визначення відстані розльоту кусків гірської породи

Наприклад, якщо при відстані між вибуховими свердловинами 6,5 м та міцності гірських порід 11 величина колонки свердловинного заряду становить 6 м, то це означає, що куски гірської породи розлетяться на відстань не більше 350 м, а для відстані між вибуховими свердловинами 7 м та міцності гірської породи 5 - на відстань не більше 250 м.

Для визначення залежності відстані розльоту кусків гірської породи від технологічних параметрів буро-вибухових робіт глибину свердловини L із формули (2) виразимо наступним чином: $L=H+d_h$, тоді $l_3=r_3(H+d_h)$. Приймаючи значення $r_3=0,1-1$ з кроком $\Delta r_3=0,1$ за формулою (1) визначимо R - відстань розльоту кусків гірської породи.

Приймаємо: $r_{заб}=1$ - коефіцієнт заповнення свердловини забивкою; $d=0,25$ м - діаметр свердловини; $d_h=3$ м - величина перебуру. Розрахунки виконано для $n=10$ точок. Результати розрахунків представлено в табл. 2, графіки отриманих залежностей відстані розльоту кусків гірської породи різної міцності від довжини заряду на рис. 2-4.

Таблиця 2

Результати розрахунків можливих відстаней розльоту кусків гірської породи для різних параметрів

H , м	10	10	H , м	15	15	H , м	21	21
d_{hp} , м	1	1	d_{hp} , м	3	3	d_{hp} , м	3	3
f	14	7	f	13	12	f	12	11
a , м	6×6	7×7	a , м	6×6	6,5×6,5	a , м	6×6	6,5×6,5
l_3	R	R	l_3	R	R	l_3	R	R
1,1	68	44	1,8	65	60	2,4	63	57
2,2	135	88	3,6	130	120	4,8	125	115
3,3	203	133	5,4	195	180	7,2	188	172
4,4	270	177	7,2	260	240	9,6	250	230
5,5	338	221	9	325	300	12	313	287
6,6	405	265	10,8	390	360	14,4	375	345
7,7	473	309	12,6	455	420	16,8	438	402
8,8	540	354	14,4	520	480	19,2	500	460
9,9	608	398	16,2	585	540	21,6	563	517
11	675	442	18	651	600	24	625	575



Рис. 2. Графік для визначення відстаней розльоту кусків гірської породи від довжини заряду в свердловині l_2 для: $a - f=14, a = (6 \times 6)$ м; $б - f=7, a = (7 \times 7)$ м



Рис. 3. Графік для визначення відстаней розльоту кусків гірської породи від довжини заряду в свердловині l_2 для: $a - f=14, a = (6 \times 6)$ м; $б - f=7, a = (7 \times 7)$ м



Рис. 4. Графік для визначення відстаней розльоту кусків гірської породи від довжини заряду в свердловині l_2 для: $a - f=13, a = (6 \times 6)$ м (*a*); $f=12, a = (6,5 \times 6,5)$ м (*б*)

Висновки та напрямок подальших досліджень. Для гірничо-геологічних умов кар'єрів Кривбасу («ПівдГЗК», «ПівнГЗК») розроблено метод обчислення та встановлені відповідні залежності для визначення сейсмобезпечних параметрів масових вибухів та відстаней до них від об'єктів, що охороняються, за умови застосування як неелектричних систем ініціювання «Прима-ЕРА», так і «ДШЕ».

Запропонована діаграма для визначення відстаней розльоту кусків гірської породи дозволяє оперативно оцінити границі небезпечної по розльоту кусків гірської породи зони, дає змогу наочно зобразити закономірності розльоту уламків породи при різних відстанях між вибуховими свердловинами в ряду чи між рядами для різних значень коефіцієнту міцності гірських порід залежно від величини колонки свердловинного заряду.

При відомій масі вибухової речовини, що припадає на один погонний метр вибухової свердловини, можна побудувати діаграму розльоту кусків гірської породи залежно від маси вибухової речовини у свердловині.

Використання запропонованої діаграми є доцільним, бо дає можливість оперативно безпосередньо на вибуховому блоці визначати відстань розльоту кусків гірської породи.

В перспективі ці положення складуть реальні передумови для створення алгоритму оптимального управління комплексом БВР на відкритих розробках родовищ скельових корисних копалин.

Список літератури

1. «Розроблення фізико-математичної моделі скочування бутів гірської породи з породного відкосу висотою понад 30 м» // Звіт по НДР // Дог. № 8-59-19 // Наук. керівн., проф. **Несмашний Є.О.** // КП «Академічний дім» АГН України. Кривий Ріг, 2019. – 67 с.

2. **Несмашний Є.О., Ткаченко Г.І., Герасимова К.В.** Розроблення фізико-математичної моделі скочування бутів гірської породи з породних відкосів // Гірничий вісник. Науково-технічний збірник Криворізького національного університету, 2020. – Вип.107. – С. 101–106. веб-сайт: iominig.in.ua/ua/homeua

3. **Несмашний Є.О., Ткаченко Г.І., Герасимова К.В.** Методи та засоби для захисту транспортних берм від падіння каменів в кар'єрі // Розвиток промисловості та суспільства: Міжнар. наук.-техн. конф. (м. Кривий Ріг, 23 - 25 травня 2020 р.): тези доп. - Кривий Ріг: ДВНЗ «КНУ», 2020. - С. 9.

4. **Антонов О. В. Нестеренко, Г.І. Ткаченко.** Дія середовища при вибухових навантаженнях гірських порід // Розвиток промисловості та суспільства: Міжнар. наук.-техн. конф. (м. Кр. Ріг, 26-28 травня 2021 р.): тези доп. - Кривий Ріг: КНУ, 2021. С. 43.

5. Визначення параметрів вибухових робіт, що забезпечують сейсмічну безпеку об'єктів, які охороняються навколо кар'єра Південного ГЗК з урахуванням використання сучасних вибухових речовин та засобів вибуху // Звіт по НДР/КТУ. - №43/2-05 ГОК/10-742-08; Кер. **Несмашний Є.О.** – Кривий Ріг, 2008. – 47 с.

6. **Несмашний Є.О., Федін К.А.** Визначення сейсмомобезпечних параметрів масових вибухів при будівництві траншеї глибокого вводу на кар'єрі «ПівдГЗК» // Вісник Криворізького національного університету: зб. наук. праць. - Кривий Ріг: КНУ. - Вип 35. - 2013. – С. 18 - 23.

7. Пат.103516 Україна, МПК F42D 3/04. Спосіб виконання буро-вибухових робіт / **Скачков А. А., Сергієнко С. Є., Шапурін О. В., Сидоренко В. Д.**; №201110513; опубл. 25.10.2013, Бюл. № 20. – 8 с. – Режим доступу: <http://uapatents.com/8-103516-sposibvikonannya-buro-vibukhovikh-robot.html>. ДП "Український інститут промислової власності".

8. **Левіцький А.П.** Сучасний стан і основні напрями розвитку процесів вибухової рудопідготовки на кар'єрах // Вісник ЖДТУ. - Житомир, 2015. - № 1(72). - С. 99-103.

9. **Сидоренко В.Д., Несмашний Є.О., Здешиц В.М.** Моніторинг сейсмічних коливань при масових підриваннях свердловинних зарядів в кар'єрі ПівдГЗК // Вісник КТУ. - Кривий Ріг, Вид-во КТУ, 2003. - № 1. - С. 7-9.

10. «Технічні правила ведення вибухових робіт на денній поверхні»: закон України від 05.08.2013р. № 1320/23852; http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/RE23852.

11. «Правила безпеки під час поводження з вибуховими матеріалами промислового призначення»: закон України від 05.07.2013 р. № 1127/23659, <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1127-13#Text>

12. Правила проведення гірничих вибухів. Норми безпечності сейсмічних коливань ґрунту. ДСТУ-П4704:2006, - К, Держспоживстандарт України, 2007.

13. **Перегудов В.В., Жуков С.А.** Пути повышения качества взрывных работ при разрушении горных пород сложной структуры. Монография.- Кривой Рог: Издательский дом, ISBN 966-7388-47-6. 2002.-305 с.

14. Норми технологічного проектування гірничодобувних підприємств з відкритим способом розробки родовищ корисних копалин.- Київ:МППУ.-2008.- 702с.

Рукопис подано до редакції 23.04.22