

## Список літератури

1. **Кочура Е.В.** Автоматизация контроля качества усреднения сырья перед его обогащением//Обогащение руд. – 1995. - № 6. – С. 41-43.
  2. **Morkun V.S.** Ultrasonic control of random heterogeneous mediums parameters // Non Destructive Testing'92. – Amsterdam: ELSEVIER, 1991. – P. 989-993.
  3. **V. Morkun, S. Goncharov, A. Pikilnyak, A. Krivenko**].- ТЕКА. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture, 2012. - Vol. 12. - №.4. - P. 162-166.
  4. **Бергман Л.** Ультразвук и его применение в науке и технике. - М.: Изд-во иностран. лит., 1957. – 726 с.
  5. **Фано У., Спенсер Л., Бергер М.** Перенос гамма-излучения. - М.: Госатомиздат, 1963. – 284 с.
  6. **Mast T. D. et al.** A k-space method for large-scale models of wave propagation in tissue // IEEE Trans.Ultrason., Ferroelect., Freq.Contr., 48(2), 2001. - P. 341-354.
  7. **Tabei M., Mast T. D., Waag R. C.** A new k-space method for coupled first-order acoustic propagation equations//Journal of the Acoustical Society of America (submitted). 2001.
  8. **Mast T.D., Hinkelman L.M., Metlay L.A., Orr M.J., Waag R.C.** // **J. Acoust. Soc.Am.** 106, 3665 (1999).
  9. **Morkun V. S.** Ultrasonic Control of Random Heterogeneous Mediums Parameters // АММТІАС'42, 1992.
  10. **Mast T. D. et al.**// IEEE Trans. Ultrason. Ferroelectr. Freq. Control'48, (2001). - P. 341
  11. **Chung A. H., Hyyinen K. H., Cline H. E., Jolesz F. A.** Quantification of thermal exposure using proton resonance frequency shift // Proc.SMR 4th Meeting, ISSN 1065-9889 3, 1751. 1996.
  12. **Pennes H. H.** // Journal of Applied Physiology'1, 93 1948.
- Рукопись поступила в редакцию 19.03.14

УДК 622.235: 622.271

Є.О. НЕСМАШНИЙ, д-р техн. наук, проф., К.А. ФЕДІН, аспірант,  
Криворізький національний університет

### РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ОБЧИСЛЕННЯ ТА ДОСВІД ЗАСТОСУВАННЯ ЧАСОВИХ ІНТЕРВАЛІВ ПРИ ПРОВЕДЕННІ МАСОВИХ ВИБУХІВ НА КАР'ЄРІ «ПІВДГЗК»

Наведено результати створення методики обчислення часових діаграм при проведенні масових вибухів колонкових зарядів на кар'єрі Південного ГЗК, застосування яких дозволяє унеможливити виникнення явища інтерференції сейсмічних хвиль біля цивільних об'єктів, що захищаються від їх дії.

**Постановка наукової задачі.** В «Єдиних правилах безпеки при вибухових роботах» [1] наведено методику розрахунку безпечних відстаней для захисту від дії сейсмічних хвиль, що виникають при масовому підриванні зосереджених свердловинних зарядів. Це питання особливо актуальне для кар'єра Південного ГЗК, бо у безпосередній близькості зі східним бортом кар'єру знаходиться масив одноповерхових житлових будинків, який потребує захисту від негативного впливу сейсмічних хвиль та виникнення явища їх інтерференції [13].

Для запобігання негативної дії масових вибухів в кар'єрі Південного ГЗК впроваджено масове застосування без тротилової вибухової речовини (україніт ПП-2Б, емоніт Н100), неелектричних систем ініціювання вибуху «Прима-Ера», яка дозволяє здійснювати коротко уповільнене підривання кожної окремої вибухової свердловини із застосуванням уповільнювачів номіналом 17;25;42;67;109; 167 мс, відповідно до гірничо-геологічних умов конкретних вибухових блоків [15,17].

Разом з тим до цього часу невирішено питання визначення часу уповільнення між підривом окремих вибухових блоків, яких при проведенні масових вибухів на Криворізьких кар'єрах може бути більше десятка [19]. За цих умов сейсмічні хвилі від окремих вибухових блоків, відстань між якими може досягати декількох кілометрів, можуть прийти до житлових будинків майже одночасно [14]. У цьому випадку можливе виникнення явища їх інтерференції з непередбачуваними наслідками для об'єктів, що захищаються [16,18].

Розв'язанню цієї наукової задачі і присвячено дану наукову роботу.

**Результати проведених експериментів.** Зважаючи на важливе соціальне значення сейсмічної безпеки масових вибухів на Криворізьких кар'єрах і відповідно з рішенням Криворізької міської ради, усі вибухи повинні супроводжуватись моніторингом їх сейсмічного рівня [3]. Такі роботи виконуються і на кар'єрі Південного ГЗК, при цьому визначення рівня

сейсмічних коливань ґрунту проводиться за методом багатоканального вимірювання коливань, розробленому в Інституті фізики Землі ім. О.Ю. Шмідта [2,4].

Для запису інформації застосовувався електронний осцилограф TPS2014 фірми "Tektronix", що має можливість запам'ятовувати, в комплекті з магнітоелектричними гальванометрами, електродинамічними датчиками СВ-10Ц, СГ-10 та трьох компонентним п'єзоелектричним акселерометром АТП-1, які пройшли відповідну метрологічну атестацію у ДП «Кривбасметрологія» [6,7].

При цьому у відповідності з національним стандартом України, модуль вектора максимальної швидкості коливань ґрунту  $V_{\max}$  визначався на основі трьох його проекцій на координатні осі (горизонтальні  $V_x$  та  $V_y$  і вертикальна  $V_z$ ) з формули [3]

$$V_{\max} = \sqrt{V_x^2 + V_y^2 + V_z^2} . \quad (1)$$

Виходячи з отриманого значення швидкості  $V_{\max}$  визначався рівень сейсмічних коливань у балах відповідно з Міжнародною сейсмічною шкалою MSK-64 [9].

Під час проведення 26 грудня 2012 р. у кар'єрі Південного ГЗК масового вибуху колонкових зарядів загальною масою 515,96 т, місце проведення інструментальних вимірювань рівня сейсмічних хвиль знаходилося біля одноповерхового житлового будинку, розташованого по вул. Володарського.

Усі технічні параметри вибуху, а саме: час початку підриву блоків  $t_n$ ; час кінця підриву блоків  $t_k$ ; тривалість підриву окремих блоків  $t_i$ ; час затримки підриву блоків  $T_i$ ; відстань до точки спостереження  $L$ ; проміжок часу за який сейсмічна хвиля від вибухового блоку доходить до точки спостереження  $\tau_i$ ; глибина горизонту  $H$ , наведено в табл. 1.

Копія отриманої осцилограми поздовжніх горизонтальних коливань ґрунту при проходженні сейсмічних хвиль біля будинку по вулиці Володарського під час виконання 26 грудня 2012 р. масових вибухів в кар'єрі ПівдГЗК, наведено на рис. 1.

З цієї осцилограми видно, що максимальна швидкість сейсмічних коливань ґрунту під час масового вибуху приходилась на інтервал часу між 7 і 9 секундами після початку масового вибуху.

Рівень сейсмічних хвиль у цей період суттєво перевищив показники, які були закладені в проект масового вибуху.

Це сталося, на наш погляд, внаслідок виникнення явища інтерференції сейсмічних хвиль в районі розташування сейсмостанції, при підриванні блоків № 152 та № 153 (див. рис. 2), унаслідок невірної визначення часу затримки між підриванням цих вибухових блоків.

Так на рис. 2а наведено часову діаграму масового вибуху, що відбувся 26 грудня 2012 року в кар'єрі Південного ГЗК, яка передбачала деяку часову затримку між підривом окремих вибухових блоків.

На рис. 2б наведена часова діаграма проходження сейсмічних хвиль через точку спостереження біля житлового будинку (вул. Володарського) під час цього масового вибуху, яка однозначно свідчить про наявність факту накладання сейсмічних хвиль створених вибуховими блоками № 152 та № 153 і невірно вибраного часу затримки між їх підривом.

Таблиця 1

Технічні параметри масового вибуху 26 грудня 2012 року в кар'єрі Південного ГЗК

Параметри блоків	Номери блоків					
	150	151	152	153	154	155
$t_n$ , мс	575	2575	3775	5575	7808	8575
$t_k$ , мс	2115	3675	5547	7683	7909	11347
$t_i$ , мс	1540	1100	1772	2108	101	2772
$T_i$ , мс		460	100	28	125	666
$\tau_i$ , мс	1140	1050	1200	960	1370	1940
$L$ , м	1485	1365	1555	1250	1780	2525
$Q$ , т	72,01	47,12	73,8	138,2	3,23	181,6
$q$ , т	1,3	0,83	0,8	0,8	0,89	0,9
$H$ , м	-285/-300	-240/-255	-210/-225	-120/-135	-90/-120	+15/±0

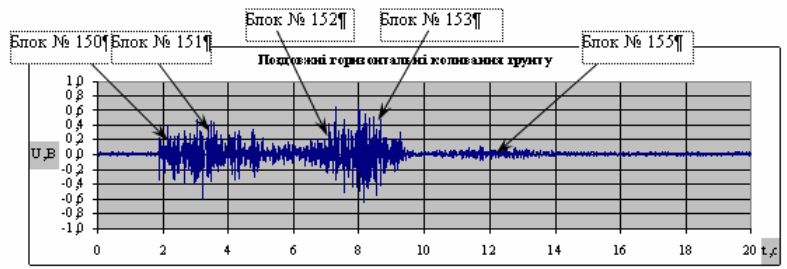


Рис. 1. Копія осцилограми сейсмічних хвиль біля житлового будинку під час виконання 26 грудня 2012 року масових вибухів в кар'єрі ВАТ «ПівдГЗК»

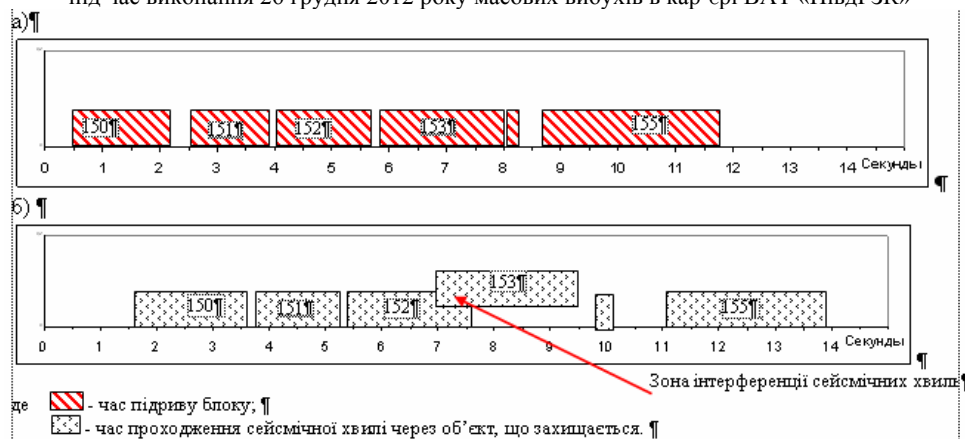


Рис. 2. Часові діаграми масового вибуху *a* та проходження сейсмічних хвиль *b* біля житлового будинку (вул. Володарського) під час масового вибуху в кар'єрі ВАТ «ПівдГЗК» 26 грудня 2012 р.

При створенні часових діаграм, що зображено на рис. 2, проміжок часу  $\tau$  за який сейсмічна хвиля доходить до точки спостереження від відповідного вибухового блоку визначалась з наступної формули

$$\tau = \frac{\sqrt{H^2 + R^2}}{V}, \quad (2)$$

де  $H$  - глибина розташування блоку, м;  $R$  - відстань від точки спостереження до даного вибухового блоку по мапі кар'єру, м;  $V$  - швидкість сейсмічної хвилі, яка визначалась експериментально і для масиву гірських порід в районі східного борту кар'єра Південного ГЗК, приблизно дорівнювала 1300 м/с.

Експериментальне визначення швидкості поширення сейсмічних хвиль у Криворізькому регіоні визначалось за допомогою триангуляційного методу [11].

Отримані і приведені в у цій роботі данні про фактичні значення швидкості розповсюдження сейсмічних хвиль в скельних масивах Криворізьких кар'єрів виявилися суттєво (у 2-3 рази) нижче за данні приведені у відповідних довідниках.

Це можливо пояснити тим, що скельні масиви біля кар'єрів представляють собою не суцільне тверде тіло, а масив суттєво порушений системою тріщин, розломів та поверхонь послаблень, до того ж ці масиви сильно обводнені [8, 0].

**Методика побудови часової діаграми.** В наслідок того, що сейсмічні хвилі від окремих вибухових блоків на точку спостереження приходять майже одночасно, створюється некерована їх інтерференція, яка може бути причиною значного резонансного збільшення амплітуди сейсмічних коливань у точці знаходження житлової чи промислової будівлі і може привести, при окремих умовах, до її ушкодження або руйнування.

Для запобігання такого небажаного результату пропонується при проектуванні масових вибухів на кар'єрах застосовувати часову діаграму з метою унеможливити виникнення явища інтерференції сейсмічних хвиль біля житлових і промислових об'єктів, що захищаються.

Поставлена задача вирішується тим, що при проектуванні масових вибухів необхідно передбачувати наявність деякого проміжку часу  $\Delta t$  між проходженням сейсмічних хвиль від окре-

мих вибухових блоків через точку спостереження, яка знаходиться біля об'єктів, що захищаються.

При цьому принципово може бути два випадки: блоки підриваються одночасно (див. рис. 3б) та з деякою затримкою (див. рис. 3а).

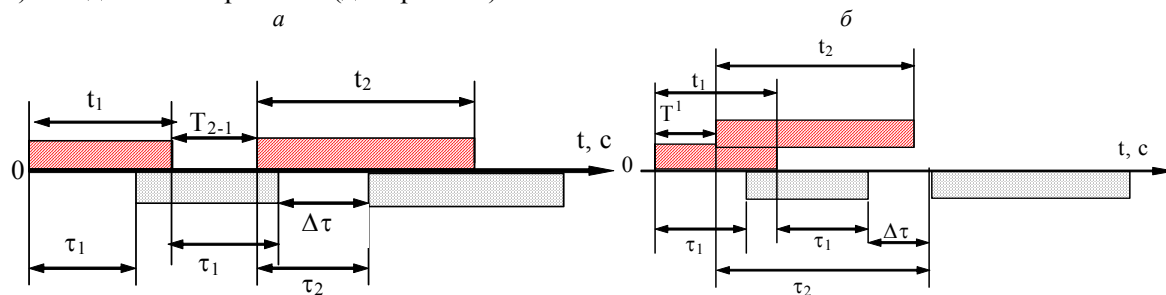


Рис. 3. Побудова часової діаграми масових вибухів

де  $t_1, t_2$  - час підриву відповідних вибухових блоків, який визначається за умови, що маса вибухівки, яка одночасно підривається не перевищує граничного рівня по умовах правил безпеки, с;  $T_{2-1}$  - час уповільнення підриву послідуєчого вибухового блоку після здійснення підриву попереднього, с;  $\tau_1$ ;  $\tau_2$  - проміжок часу за який сейсмічна хвиля доходить до точки спостереження після підриву відповідного вибухового блоку, с;  $\Delta\tau$  - проміжок часу між проходженням окремих сейсмічних хвиль через точку спостереження, с.

З часових діаграм, що приведені на рис. 3 видно, що для запобігання явища інтерференції сейсмічних хвиль в районі розташування об'єктів, які охороняються, необхідно при проектуванні вибухових робіт на кар'єрах передбачувати наявність деякого проміжку часу  $\Delta\tau$  між проходженням окремих сейсмічних хвиль через точку спостереження.

При цьому ми враховували, що наявність декількох сейсмічних хвиль малої амплітуди значно краще для сейсмічної стійкості житлових будинків, ніж одна сейсмічна хвиля великої амплітуди [5, 20].

Поставлена мета, а саме унеможливлення виникнення явища інтерференції сейсмічних хвиль на точці спостереження, буде досягнута за умови  $\Delta\tau > 0$ . Для умов Криворізького басейну значення параметра  $\Delta\tau$  рекомендується приймати не менше 0,067 с.

Тоді, виходячи з гістограм приведених на рис. 3а, час уповільнення  $T_{2-1}$ , що дорівнює інтервалу між початком підриву наступного вибухового блоку і кінцем підриву попереднього, повинен бути не менше величини, що обчислюється з виразу (3).

У випадку коли вибухові блоки підриваються одночасно або з часом затримки  $T^1$  (див. рис. 3-б), що дорівнює інтервалу між початком підриву попереднього вибухового блоку і початком підриву наступного, його величина повинна бути не менше величини, що обчислюється з виразу (4)

$$T_{2-1} \geq \tau_1 - \tau_2 + \Delta\tau, \quad (3)$$

$$T^1 \geq \tau_1 - \tau_2 + t_1 + \Delta\tau, \quad (4)$$

де  $t_1$  - час підриву попереднього вибухового блоку, за умови, що маса вибухової речовини не перевищує гранично припустимого рівня відповідно до правил техніки безпеки, с.

Застосування запропонованого способу визначення часу уповільнення між підривом окремих вибухових блоків при проведенні масових вибухів на кар'єрах дозволить значно підвищити їх сейсмічну безпеку, що до житлових будинків і споруд соціального призначення, які знаходяться біля цих кар'єрів і потребують захисту від негативної дії цих вибухів.

На дану методику визначення часового інтервалу між підривом окремих вибухових блоків авторами отримано патент України [12].

**Приклад застосування часової діаграми.** В якості приклада розглянемо застосування часової діаграми для масового вибуху колонкових зарядів в кар'єрі ВАТ «ПівдГЗК», що відбувся 26 грудня 2012 року та проходження сейсмічних хвиль від нього біля житлового будинку по вул. Володарського (див. табл. 1).

Відповідно до формули (3), обчислимо мінімально необхідний час уповільнення між підривом блоків №150 та №151

$$T_{150-151} \geq \tau_{150} - \tau_{151} + \Delta\tau = 1,14 - 1,05 + 0,067 \geq 0,157 \text{ с.} \quad (5)$$

Отриманий результат означає, що час уповільнення між підривом блоку № 150 та № 151

закладений у проект (460 мс) цілком достатній для того, щоб уникнути явища інтерференції сейсмічних хвиль біля об'єкту, що захищається.

Аналогічно для вибухових блоків № 151 та № 152

$$T_{151-152} \geq \tau_{151} - \tau_{152} + \Delta\tau = 1,05 - 1,2 + 0,067 \geq -0,083 \text{ с} \quad (6)$$

Отриманий результат означає, що час уповільнення між підривом блоків № 151 й № 152 закладений у проект (100 мс) цілком достатній для того, щоб уникнути явища інтерференції сейсмічних хвиль.

Знак (-) в остаточному результаті (6) означає, що уповільнення при підриванні цих блоків може й не проводитися.

Навпаки, блок № 152 можливо підривати разом із блоком № 151 на останніх 0,083 секундах його горіння, при цьому явища інтерференції сейсмічних хвиль на об'єкті, що захищається, спостерігатися не буде.

Аналогічно для вибухових блоків №152 та №153

$$T_{152-153} \geq \tau_{152} - \tau_{153} + \Delta\tau = 1,2 - 0,96 + 0,067 \geq 0,307 \text{ с} \quad (7)$$

Отриманий результат означає, що час уповільнення між підривом блоків № 152 та № 153 закладений у проект (28 мс) *недостатній* для того, щоб уникнути явища інтерференції сейсмічних хвиль біля об'єкта, що захищається.

Для попередження цього негативного явища, час між підривом цих блоків повинен бути не менше 0,307 с. Сейсмограма приведена на рис. 1, наглядно підтверджує вище сказане.

Аналогічно для вибухових блоків №153 і №154 та №154 іа №155

$$T_{153-154} \geq \tau_{153} - \tau_{154} + \Delta\tau = 0,96 - 1,37 + 0,067 \geq -0,343 \text{ с} \quad (8)$$

$$T_{154-155} \geq \tau_{154} - \tau_{155} + \Delta\tau = 1,37 - 1,94 + 0,067 \geq -0,503 \text{ с} \quad (9)$$

Отримані результати означають, що час уповільнення між підривом блоків №153 і №154 (125 мс) та між підривом блоків №154 і №155 (666 мс) цілком достатній для того, щоб уникнути явища інтерференції сейсмічних хвиль при підриві цих вибухових блоків біля об'єкту, що захищається.

Фізичний зміст знаку (-) в отриманих результатах (8) і (9) такий, як і у попередньому випадку.

**Висновки.** Застосування запропонованого способу визначення часу уповільнення між підривом окремих вибухових блоків при проведенні масових вибухів на кар'єрах дозволяє значно підвищити їх сейсмічну безпеку (на 0,5–1 бал за Міжнародною сейсмічною шкалою MSK-64), що до житлових будинків і споруд соціального призначення, які перебувають у безпосередній близькості від місця проведення цих вибухів і потребують захисту від них.

### Список літератури

1. Единые правила безопасности при взрывных работах. – К.: Норматив, 1992. -172 с.
2. Техника контроля напряжений и деформаций в горных породах и массивах. Л.: Наука, 1978. - 243 с.
3. Національний стандарт України. Проведення промислових вибухів. Норми сейсмічної безпеки. ДСТУ-4704:2008. - Київ, Держспоживстандарт України, 2012.
4. **Медведев С.В.** Сейсмика горных взрывов. Недра, 1964. -188, с.
5. **Фадеев А.Б.** Дробящее и сейсмическое действие взрыва на карьерах. М.: Недра, 1972. -135 с.
6. Развитие методов ведения взрывных работ на карьерах с учетом улучшения экологических условий. М.: Недра, 1991 -150 с.
7. **Bollinger G.A.** Blast vibration analyses. London, 1971. - 87 p.
8. **Кутузов Б.Н.** Разрушение горных пород взрывом. М, Недра, 1994. - 444 с.
9. Сейсмическое действие взрыва в горных породах. – М.: Недра, 1990. -173 с.
10. **Кузнецов Г.В.** Сейсмическая безопасность сооружений при взрывных работах в карьерах. Горный журнал, № 4, 1971. - С. 47–49.
11. **Несмашний Е.А, Перевертайло А.И., Скачков А.А.** Определение скорости сейсмических волн в горном массиве при проведении массовых взрывов на карьере. // Вісник Криворізького національного університету, 2013. - Вип. 34. - Кривий Ріг.
12. **Несмашний Є.О., Федін К.А.** Спосіб проведення підривних робіт при відкритій розробці рудних покладів. // Патент України № 82004 від 10.07.2013.
13. **Здещиц В.М. Сидоренко В.Д., Несмашний Є.О.** Моніторинг сейсмічних коливань при масових підриваннях свердловинних зарядів в кар'єрі ПівдГЗК // Вісник КТУ: Кривий Ріг, 2003. - Вип. 1. - С. 7-9.

14. Аналіз проектів масового підривання колонкових зарядів в 750-метровій охоронній зоні Першотравневого кар'єру ПівнГЗК та видача рекомендації щодо мінімізації рівня сейсмічних та ударних повітряних хвиль // Звіт про НДР. Науковий керівник проф. **Несмашний Є.О.** // Кривий Ріг, КТУ, 2006.

15. **Бондурівська О.І., Несмашний Є.О.** Застосування системи ініціювання типу "НОНЕЛЬ МС" при уступному відбиванні на відкритих розробках // Вісник Криворізького технічного університету. - Кривий Ріг, 2007. - Вип. 16. - С.162-166.

16. Визначення параметрів вибухових робіт, що забезпечують сейсмічну безпеку об'єктів, які охороняються навколо кар'єра ГЗК «Укрмеханобр» з урахуванням використання сучасних вибухових речовин та засобів вибуху // Звіт про НДР. Науковий керівник проф. **Несмашний Є.О.** - Кривий Ріг, КТУ. - 2008.

17. 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 про НДР. Науковий керівник проф. **Несмашний Є.О.** -Кривий Ріг, КТУ, 2008.

18. Визначення параметрів вибухових робіт, що забезпечують безпеку для об'єктів проектуемого ТОВ «Ворскла сталь» металургійного заводу, поблизу Єривського кар'єру з урахуванням використання сучасних вибухових речовин та засобів вибуху // Звіт про НДР. Науковий керівник проф. **Несмашний Є.О.** / Кривий Ріг: КТУ, 2008.

19. **Скачков А.А. Ткаченко Г.І. Перевертайло О.І., Несмашний Є.О.** Моніторинг сейсмічної безпеки масових вибухів на залізрудних кар'єрах Кривбасу // Вісник Криворізького технічного університету. -Кривий Ріг, КТУ, - 2009, -Вип. 24. С.27-32.

20. Визначення параметрів бурових і вибухових робіт при виконанні будівництва траншеї // Звіт про НДР. Науковий керівник проф. **Несмашний Є.О.** -Кривий Ріг: КТУ, -2009.

Рукопис подано до редакції 06.01.14

УДК 622.23(28)

Л.Г. НАСТОБУРКО, канд. техн. наук, АГН України

Ю.Ю. КРИВЕНКО, канд. техн. наук, доц., Криворожский национальный университет

### **РАЦИОНАЛЬНОЕ ПРИМЕНЕНИЯ ЭТАЖНО-КАМЕРНОЙ И ПОДЭТАЖНО-КАМЕРНОЙ СИСТЕМ РАЗРАБОТКИ С ТВЕРДЕЮЩЕЙ ЗАКЛАДКОЙ ПРИ ОТРАБОТКЕ МОЩНЫХ КРУТОПАДАЮЩИХ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

Выполнен анализ опыта отработки рудных месторождений при различных горно-геологических условиях. Установлено, что оптимизация отработки залежей системами с открытым очистным пространством может быть достигнута за счет применения твердеющей закладкой с использованием погрузочно-доставочных машин на подэтажном горизонте на выпуске и доставке руды к рудоспускам, соединенным с основным откаточным горизонтом. Определена область применения погрузочно-доставочных машин в одной выемочной единице одновременно на разных горизонтах для увеличения производительности очистных камер. Установлено, что при проектировании разработки мощных крутопадающих рудных месторождений камерными системами разработки с твердеющей закладкой, целесообразно, перед принятием проектных решений, учитывать рациональные области применения этажно-камерной и подэтажно-камерной систем разработки с учетом горно-геологических и горнотехнических условий.

**Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.** Освоение новых рудных месторождений и дальнейший рост добычи руды на действующих рудниках является приоритетным направлением развития сырьевой рудной базы народного хозяйства Украины.

Горно-геологические и горнотехнические условия рудных месторождений могут определять применение различные варианты камерных систем разработки с твердеющей закладкой, обеспечивающих сохранение поверхности земли и управление горным давлением, что обеспечивает добычу руды с высокой эффективностью и соблюдением требований безопасности труда горнорабочих, а также необходимой полнотой извлечения из недр полезного ископаемого.

**Анализ исследований и публикаций.** Для отработки, железорудных месторождений, которые представляют собой рудные тела, мощность, которых находятся в пределах 40-120 м, углы наклона составляют 70-90°, глубина их залегания от 500-600 м с распространением на глубину до 1400 м и более, крепость руд и вмещающих пород  $f=7-12$  баллов по шкале проф. Протодеяконова, наиболее широко применяются варианты этажно-камерной системы с твердеющей закладкой и с вибровыпуском руды или с применением на выпуске и доставке руды самоходных