

12. Wu T., Shieh S., Jang S., Liu C. Optimal energy management for a petrochemical plant under considerations of uncertain power supplies. IEEE Transaction on Power Systems, 20 (3), 2005, pp. 1431–1439. DOI: 10.1109/tpwrs.2005.852063
13. Brand H., Vosloo J., Mathews E. Automated energy efficiency project identification in the gold mining industry. Proceeding of the 13th Conference on the Industrial and Commercial use of Energy (ICUE). 2015, pp. 17-22. DOI: 10.1109/ICUE.2015.7280241.
14. Батраков Д.В. Анализ и особенности способов повышения энергоэффективности шахтных насосных водоотливных установок средствами электропривода / Гірничий вісник, 2013. -Вип. 96. - С. 271-75.
15. Рухлова Н.Ю. О проблеме эффективного электропотребления главным водоотливом шахты. Гірничя електромеханіка та автоматика. 2012. Вип. 89. С. 141-145.
16. Pujades E., Orban P., Bodeux S., Archangeau P., Erpicum S., Dassargues A. Underground pumped storage hydropower plants using open pit mines: How do groundwater exchanges influence the efficiency. Applied Energy. 2017. Vol. 190. pp. 135–146. DOI: 10.1016/j.apenergy.2016.12.093.
17. Menéndez J., Fernández-Oro J.M., Loredó J. Economic Feasibility of Underground Pumped Storage Hydropower Plants Providing Ancillary Services. Applied Sciences. 2020. Vol. 10(11). P. 3947. DOI:10.3390/app10113947.
18. Biloshytskiy M., Tatarchenko H., Biloshytska N., Uvarov P. Operational lifetime increase of the pumping equipment when pumping-out contaminated groundwater. Mining of Mineral Deposits, 2021. - Vol. 15(1). pp. 42-49. DOI: 10.33271/mining15.01.042.
19. Разумный Ю.Т., Ильченко Е.С. Проблемы использования водоотливных установок угольных шахт в качестве потребителей-регуляторов. Гірничя електромеханіка та автоматика, 2004. - Вип. 73. - С. 20-23.
20. Sinchuk O., Kupin A., Sinchuk I., Kozakevych I., Peresunko I. Simulating of fuzzy controlling of power streams in conditions of underground extraction of iron ore / Праці XVI міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми сучасної електротехніки – 2020 (ПСЕ-2020)». 8-12 червня 2020. Київ: НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського».

УДК 622.235:622.271

О.П. СТРИЛЕЦЬ, гірничий інженер, директор Центру з підричних робіт
Національного технічного університету (Дніпровська політехніка)
Г.І. ЄРЕМЕНКО, канд. техн. наук, доц., Д.А. ТІТОВ, магістр, АГН України
С.М. ГЕНКУЛЕНКО, гірничий інженер, головний інженер ТОВ «РУДОМАЙН»

АНАЛІЗ СЕЙСМОБЕЗПЕКИ СПОРУДЖЕНЬ КРИВБАСУ ЗА УМОВ ВИБУХОВИХ РОБІТ ПРИ ЗМЕНШЕНІЙ САНІТАРНО-ЗАХИСНІЙ ЗОНІ КАР'ЕРУ «ПІВДЕННИЙ» ТОВ «РУДОМАЙН»

Основна мета дослідження полягає в удосконаленні методу оцінки вібрації, зумовленої короткоуповільненим підриванням свердловинних зарядів, заснованого на визначенні максимальної маси вибухової речовини в групі уповільнення для розрахунку схем комутації блоків в кар'єрі «Південний» ТОВ «Рудомайн», що забезпечить допустимі значення швидкості сейсмічних коливань ґрунту на межі санітарно-захисної зони для будівель і споруд м. Кривий Ріг.

Методами дослідження є апаратна реєстрація сейсмічних проявів масових технологічних вибухів у кар'єрі та математичне моделювання фізичних коливальних процесів на базі реєстраційних таблиць та матриць у прив'язці до динамічних реакцій активованих вибухом елементів споруджень, розташованих в зоні його сейсмічного впливу.

Наукова новизна дослідження полягає в установленні закономірностей сейсмічного впливу масових вибухів кар'єру «Південний» ТОВ «РУДОМАЙН» на будівлі та споруди за умов здійснення вибухових робіт при зменшеній санітарно-захисній зоні. Вдосконалено методику розрахунку сейсмомобезпечної маси вибухових речовин в групі уповільнення на основі експериментального визначення коефіцієнта умов проведення вибуху K , який залежить від гірничо-геологічних та технологічних умов проведення вибуху в кар'єрі, а також – поширення сейсмічних хвиль від блоку до будівель та споруд.

Практичне значення: прогнозування параметрів вібрації ґрунту в основі будівель та споруд на базі експериментально встановленого коефіцієнта умов проведення вибуху K дозволяє більш точно визначати максимальну масу вибухових речовин (ВР) в ступені уповільнення, що надає можливість одночасно підривати більшу їх масу в межах одного блоку, розподіляючи її на групи зарядів, що не перевищують максимально допустиму сейсмомобезпечну масу. Це дозволяє збільшити масу вибухових речовин на один масовий вибух та зменшити кількість масових вибухів і їх вплив на будівлі, які знаходяться на межі санітарно-захисної зони кар'єру.

Результат. Допустима швидкість сейсмічних коливань ґрунту будівель, наближених до межі санітарно захисної зони кар'єру «Південний» ТОВ «РУДОМАЙН», при частоті нижче 20 Гц складає 0,4 см/с, що відповідає II балам за шкалою MSK-64. Такі коливання не становлять загрози житловим будівлям, що перебувають в задовільному стані.

Проблема та її зв'язок з науковими і практичними завданнями. Видобуток скельної сировини супроводжується значним обсягом вибухових робіт. В результаті сейсмічних явищ, викликаних промисловими вибухами, в густонаселених районах виникає ряд проблем. Вибух породжує систему сейсмічних хвиль, що загрожують навколишнім спорудам та порушують стійкість гірничих виробок, природних і техногенних елементів рельєфу. За цих умов надзвичайно актуалізується завдання сейсмобезпеки будівель та споруд Кривбасу, особливо за умов зменшеної санітарно-захисної зони кар'єру «Південний» ТОВ «РУДОМАЙН»

Аналіз досліджень і публікацій. Дослідженню стану сейсмічної безпеки вибухів в кар'єрах, передових досягнень в промисловій сейсміці, сейсмозахисту різних типів охоронних об'єктів присвячено багато наукових робіт вчених України та світу [1-3].

Однак, кожне родовище має свої геологічні особливості та вимагає відповідну технологію видобутку корисних копалин. Тому теоретичні розрахунки для одного родовища можуть кардинально відрізнятись для іншого [3-5].

Провідними науковцями розроблено способи зниження сейсмічного ефекту вибуху, але вони не враховуються в методиці визначення сейсмобезпечних параметрів вибухів і безпечних відстаней, в результаті чого точність прогнозу значно знижується, а методики та нормативні документи [6-8] не передбачають зв'язок сейсмоефекту вибуху з якістю вибухового дроблення гірських порід.

Багаторічні дослідження показують, що зниження сейсмоефекту є наслідком перерозподілу вибухової енергії на корисну форму роботи. Одна з причин такого перерозподілу є підвищення часу вибухового навантаження скельного масиву з одночасним зниженням початкового імпульсу вибуху в свердловині, в результаті чого створюються умови досягнення критичного стану стійкості гірських порід при більш низьких навантаженнях.

В роботах [6-10] досліджено й описано показники коливань, які не перевищують допустимую норму і мають високочастотний характер. Згідно ДСТУ 4704: 2008 такі коливання не становлять загрози будівлям, які знаходяться в задовільному стані.

Методика визначення сейсмобезпечних параметрів буро-вибухових робіт і безпечних відстаней [6-8] не дає об'єктивної картини. Складна структура масиву, який підривається, особливості гірських порід на шляху поширення сейсмічних хвиль, конструкція свердловинних зарядів і спосіб їх ініціювання і т.п. може кардинально змінити інтенсивність коливань, що призводить до зниження обсягів масових вибухів, а в деяких випадках ставиться питання навіть про закриття гірничодобувних підприємств.

Постановка завдання. Відповідно до зазначеної вище проблеми головним завданням викладеного дослідження стало удосконалення методика визначення сейсмобезпечної маси вибухових речовин в групі уповільнення свердловинних зарядів. Об'єкт досліджень - процес виникнення і розповсюдження вібрації при підриванні свердловинних зарядів короткоуповільненим способом в кар'єрі «Південний» ТОВ «РУДОМАЙН». Предмет дослідження - параметри вібрації ґрунту на межі санітарно захисної зони, а також біля фундаментів будівель і споруд, зумовленої короткоуповільненим підриванням свердловинних зарядів в кар'єрі «Південний» ТОВ «РУДОМАЙН».

Викладення матеріалу та результати. Насамперед було розглянуто й проаналізовано методику моніторингу показників вібрації ґрунту біля будівель та споруд відповідно до ДСТУ 7116: 2009 «Вибухи промислові. Методи визначення фактичної сейсмічної стійкості будинків і споруд» [7] та ДСТУ 7117:2009 «Вибухи промислові. Методи визначення тиску на фронті ударної повітряної хвилі та границі безпечної зони» [8]. Головною метою моніторингу вібрації є встановлення закономірностей взаємодії сейсмовибухових хвиль в системі з урахуванням частотних характеристик коливань ґрунту. За результатами цих вимірювань визначаються у різних діапазонах частоти масової швидкості коливань.

Завданням моніторингу є:

a - оперативний контроль впливу сейсмовибухових хвиль на охоронні об'єкти;

б - статистичне накопичення даних про параметри коливань (швидкості і частоти) і використання їх при коригуванні існуючих масштабів вибуху;

в - вибір безпечних рівнів коливань для об'єктів;

г- використання даних сейсмічних параметрів короткоуповільненого вибуху системи свердловинних зарядів ВР для розробки рекомендацій з визначення сейсмобезпечних параметрів вибухових робіт на різних ділянках кар'єрного поля та переносу цих даних на райони з подібними гірничо-геологічними і технічними умовами.

Сейсмічні спостереження дають можливість кількісно оцінити рівень коливань, а потім розробити рекомендації з безпечної експлуатації об'єктів, які охороняються в умовах ведення вибухових робіт. Значення критерію сейсмобезпеки не повинно перевищувати припустимих величин за нормативами. ДСТУ 7116:2009 «Вибухи промислові. Методи визначення фактичної сейсмічної стійкості будинків і споруд» установлює метод визначання фактичної сейсмічної стійкості будинків і споруд під час проведення вибухових робіт підприємствами.

Загальними критеріями безпеки об'єктів, які підлягають збереженню під час вибухів, є допустима швидкість сейсмічних коливань ґрунту біля фундаменту, співвідношення періоду коливання ґрунту і власного періоду коливань будівлі, тривалість сейсмічних коливань ґрунту.

За основний критерій безпеки під час визначання допустимих значень параметрів коливань ґрунту беруть допустиму швидкість сейсмічних коливань, за якої повністю гарантовано збереження об'єктів, а вірогідні локальні деформації їх не перевищать прогнозовані.

Удосконалення методики визначення сейсмобезпечної маси вибухових речовин в групі уповільнення. Для моніторингу вібрації (швидкість сейсмічних коливань ґрунту і тиску на фронті ударної повітряної хвилі) було використано сейсмостанцію ZET 048-E з трьохкомпонентним акселерометром BC 1313 і ноутбуком з програмним забезпеченням ZETLab Seismo та цифровий сейсмограф BlastMate III з мікрофоном, трьохосьовими геофонами і ноутбуком з програмним забезпеченням BlastWare (рис. 1).



Рис. 1. Обладнання для реєстрації сейсмоколивань ґрунту та тиску на фронті ударної повітряної хвилі: 1 - сейсмостанція ZET 048-E; 2 - сейсмограф BlastMate III

Моніторинг вібрації проводиться на межі санітарно захисної зони або біля фундаменту будівлі в різних напрямках від місця вибуху. Для вивчення сейсмічних властивостей гірського масиву вимірювалися не тільки швидкості сейсмічних коливань, але й частотні характеристики коливального процесу системи «джерело вибуху - гірський масив - об'єкт». За результатами вимірювань визначалася швидкість зміщення ґрунту в основі будівель. На основі залежності швидкості зміщення ґрунту від маси заряду ВР і відстані до об'єкту визначався фактичний коефіцієнт умов проведення вибуху K , який залежить від умов проведення вибуху та поширення сейсмічних вибухових хвиль зі всіх сторін кар'єру, де є об'єкти, що підлягають збереженню. Після встановлення цього коефіцієнту визначалася сейсмобезпечна маса ВР в найбільшій групі уповільнення для напрямків в сторону об'єктів, що охороняються.

Швидкість коливань ґрунту від вибуху одноразового зосередженого заряду вибухових речовин (V), в сантиметрах за секунду, обчислювалася за формулою

$$V = K \left(\frac{Q^{1/3}}{r} \right)^{1,5},$$

де K - коефіцієнт, який залежить від умов проведення вибуху та поширення сейсмічних вибухових хвиль; Q - маса одноразового зосередженого заряду ВР, кг; r - відстань від заряду до пункту спостереження, м; 1,5 - коефіцієнт затухання інтенсивності сейсмічних коливань.

Коефіцієнт K , який залежить від умов проведення вибуху та поширення сейсмічних вибухових хвиль обчислювався відповідно до пункту 8,2 та 8,9 ДСТУ 4704:2008 і мав враховувати: особливості ґрунту, що підлягає підриванню, особливості ґрунту під фундаментом будівлі, сезонність робіт, орієнтацію об'єкта відносно блока, ступінь свободи масиву, діаметр заряду, кількість груп зарядів. Зважаючи на складність та достовірність визначення коефіцієнту K його визначення проводилося на основі експериментальних вибухів при інструментальному вимірюванні швидкості сейсмічних коливань ґрунту в основі фундаментів будівель та споруд для конкретних умов підривання за формулою

$$K = V_{\phi} \left(\frac{r}{Q^{1/3}} \right)^{1,5},$$

де V_{ϕ} - фактична швидкість коливань ґрунту від вибуху одноразового зосередженого заряду ВР, біля фундаменту об'єкта, що охороняється.

Сейсмобезпечна відстань від блоку до об'єкта (r_c) визначалася за формулою

$$r_c = \left(\frac{K}{V_{\text{доп}}} \right)^{2/3} \cdot Q^{1/3},$$

де $V_{\text{доп}}$ - допустима швидкість коливань ґрунту від вибуху одноразового зосередженого заряду ВР, біля фундаменту об'єкта, що охороняється.

Сейсмобезпечна маса зосередженого заряду ВР залежно від віддалення r від об'єкта Q_c визначалася за формулою

$$Q_c = \left(\frac{V_{\text{доп}}}{K} \right)^2 \cdot r^3.$$

Сейсмобезпечна маса групи зарядів розраховується в залежності від умов підривання та відстані до об'єкта, що охороняється.

Величина сейсмобезпечної маси зарядів та схема підривання блоку коригується на кожний вибух на основі результатів моніторингу сейсмічних коливань.

Допустимі норми швидкості сейсмічних коливань ґрунту для будівель та споруд, які найбільш наближені до кар'єру встановлено згідно з ДСТУ 4704: 2008 «Проведення промислових вибухів. Норми сейсмічної безпеки» [1].

Об'єкти, які підлягають збереженню, відносяться до IV класу, 4 та 5 категорії будівель та споруд. Конструктивні особливості та стан цих об'єктів відповідає вимогам - Будівлі каркасного типу, що мають тріщини в каркасі, порушення зв'язків між окремими елементами. Будівлі глинобитні, цегляні і великоблокові будівлі житлового призначення (в тому числі будівлі, які мають термін експлуатації більше, ніж 50 років, але придатні до експлуатації) і мають ознаки деформацій у вигляді тріщин в несучих стінах та фундаментах [1, 5].

Відповідно до шкали інтенсивності сейсмічних коливань під час вибухів (табл. 1 та пункту 6.2) ДСТУ 4704:2008 [1] допустима швидкість сейсмічних коливань ґрунту для таких будівель при частоті нижче 20 Гц складає 0,4 см/с, що відповідає II балам за шкалою MSK-64. Такі коливання не становлять загрози житловим будівлям, що знаходяться в задовільному стані.

Таблиця 1

Вплив надлишкового тиску на фронті ударної повітряної хвилі на будівлі, споруди і деякі механізми [3]

Вплив ударної повітряної хвилі	Тиск, кПа
Деренчання незакріпленого скла	0,20–0,25
Руйнування неякісно закріпленого скла	0,25–0,50
Руйнування якісно закріпленого скла	1,0–3,0
Розтріскування штукатурки	3,0–5,0
Руйнування віконний рам	7,0
Руйнування легкого стінового заповнювача	14,0
Пошкодження контрольно-вимірювальної апаратури	10,0–20,0
Руйнування бетонних та шлакобетонних стін завтовшки від 20 см до 30 см	14,0–21,0
Руйнування стін з цегли завтовшки від 20 см до 30 см	50,0–55,0
...	...

Відповідно до пункту 6.3 та 6.4 ДСТУ 4704:2008 [1] допустима швидкість сейсмічних коливань ґрунту для вищезазначених будівель при частоті вище 20 Гц становить 1,0 см/с, що відповідає IV балам за шкалою MSK-64. Високочастотні коливання 20÷100 Гц при незначній тривалості пікових значень швидкості коливань ґрунту не призведуть до пошкоджень, оскільки не співпадають з власними коливаннями будівель та споруд і не викликають резонансного явища.

Недопустимою, відповідно до пунктів 5 та 6 ДСТУ 4704:2008 [1] є швидкість сейсмічних коливань ґрунту понад 1,5 см/с, особливо при частоті до 20 Гц, що становить більше V балів за шкалою MSK-64. Сейсмічні коливання ґрунту з такою швидкістю спричиняють пошкодження старих будівель.

Допустимі норми надлишкового тиску на фронті ударної повітряної хвилі.

Відповідно до пункту 5.1 ДСТУ 1717:2009 [3] допустимий надлишковий тиск на фронті ударної повітряної хвилі на людину не має перевищувати 10 кПа (10000 Па). Відповідно до пункту 5.2 ДСТУ 1717:2009 вплив ударної повітряної хвилі на будівлі, споруди і деякі механізми починається при надлишковому тиску понад 0,2-0,25 кПа (200-250 Па), при такому тиску відбувається вібрація незакріпленого скла, а руйнування неякісно закріпленого скла починається при надлишковому тиску 0,25-0,5 кПа (250-500 Па).

Результати моніторингу вібрації (швидкості сейсмічних коливань ґрунту і надлишкового тиску на фронті ударної повітряної хвилі) представлено в табл. 2 та на рис. 2.

Таблиця 2

Інтенсивність вібрації (пікові значення швидкості сейсмічних коливань ґрунту і тиску на фронті ударної повітряної хвилі) в точці проведення вимірювань

Номер блоку, горизонт	Тривалість вібрації (сейсмічних коливань ґрунту), мс	Зареєстровані показники вібрації						
		Макс. швидкість сейсмічних коливань ґрунту, см/с			Модуль повного вектору швидкості сейсмічних коливань ґрунту V_{Σ} , см/с	Інтенсивність коливань в балах	Інтервал переважних частот, Гц	Надлишковий тиск УПХ, Па
		Y (tran)	Z (vert)	X (long)				
Блок 1	2200	0,0854	0,1771	0,1912	0,1972	I	5-20	10,0
Блок 2	5500	0,1574	0,1842	0,1857	0,1965	I	5-20	16,0
Блок 3	3100	0,1945	0,1085	0,1607	0,1951	I	5-20	12,0
Блок 4	2600	0,0720	0,0600	0,0759	0,0925	I	5-20	5,0
Блок 5	3200	0,1798	0,0664	0,1103	0,1862	I	5-20	10,0
Блок 6	3200	0,0921	0,0587	0,0873	0,1093	I	5-20	30,25
Блок 7	2400	0,1857	0,0873	0,1365	0,1901	I	5-20	15,75
Блок 8	5000	0,1857	0,1810	0,1851	0,1988	I	5-30	22,00
Блок 9,10	1400	0,2281	0,1908	0,2183	0,2728	II	5-35	20,00
Блок 11	1500	0,1064	0,0619	0,1556	0,1577	I	5-30	3,00
Блок 12	3500	0,1016	0,0667	0,1286	0,1459	I	5-30	25,25
Блок 13	2200	0,0365	0,0349	0,0444	0,0507	I	5-30	0,50
Блок 14	2500	0,1048	0,0667	0,1905	0,1958	I	5-30	2,25
Блок 15	3500	0,0778	0,0444	0,0825	0,0878	I	5-35	2,0
Блок 16	4100	0,1600	0,1191	0,1619	0,1935	I	5-35	10,5
Блок 17	3500	0,1492	0,1095	0,1976	0,1936	I	5-35	2,75
Блок 18	1500	0,0444	0,0238	0,0508	0,0574	I	5-30	2,00

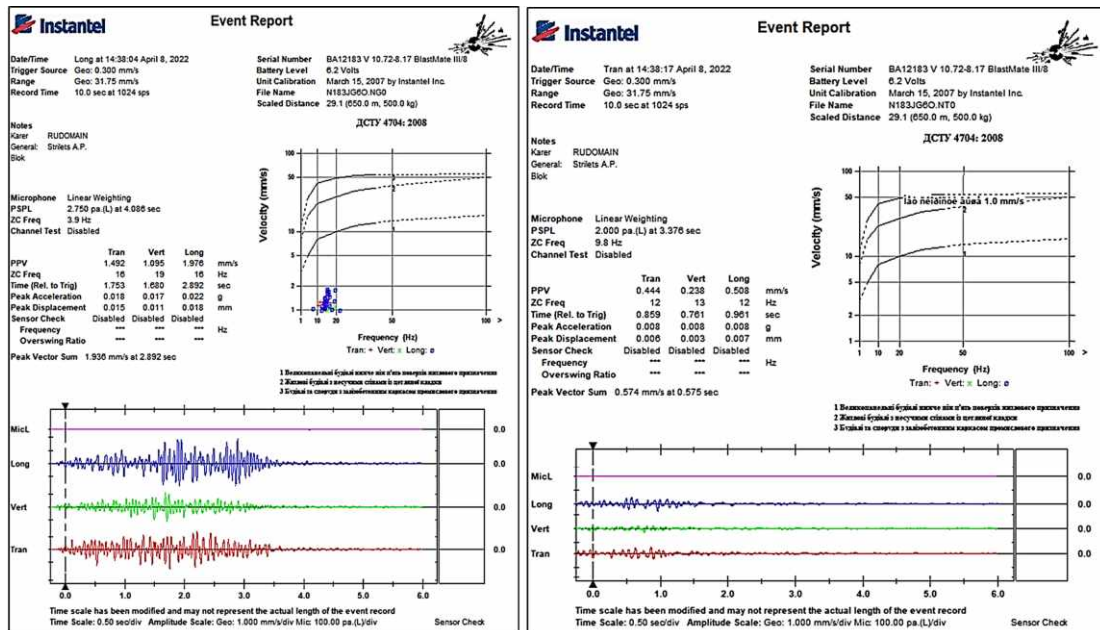


Рис. 2. Результати моніторингу вібрації (швидкості сейсмічних коливань ґрунту і надлишкового тиску на фронті ударної повітряної хвилі) (ліворуч - Блок 17 праворуч - Блок 18)

Висновки.

1. Проведено аналіз досліджень захисту будівель та споруд від вібрації, зумовленої вибуховими роботами. Це дозволило встановити, що зниження сейсмоефекту є наслідком перерозподілу вибухової енергії на корисну форму роботи. Одна з причин такого перерозподілу є підвищення часу вибухового навантаження скельного масиву з одночасним зниженням початкового імпульсу вибуху в свердловині, в результаті чого створюються умови досягнення критичного стану стійкості гірських порід при більш низьких навантаженнях.

2. Виконано аналіз методики моніторингу показників вібрації ґрунту зумовленої вибуховими роботами та визначення сейсдобезпечних параметрів вибухових робіт на кар'єрах. Аналіз показав, що методика визначення сейсдобезпечних параметрів вибухових робіт і безпечних відстаней не дає об'єктивної картини. Складна структура масиву, який підривається, особливості гірських порід на шляху поширення сейсмічних хвиль, конструкція свердловинних зарядів і спосіб їх ініціювання і т. ін. може кардинально змінити інтенсивність коливань, що призводить до зниження обсягів масових вибухів, а в деяких випадках ставиться питання навіть про закриття гірничодобувних підприємств.

3. Встановлено, що деформації і динамічні напруження, які діють на будівлю, є прямо пропорційними швидкості коливань сейсмічної хвилі й обернено пропорційними частоті власних коливань будівель. Звідси випливає, що оцінку сейсмостійкості будівлі необхідно проводити за допустимою швидкістю коливань частинок її ґрунтової основи, оскільки цей показник найбільш надійно корелює з енергією, яка порушує цілісність будівлі внаслідок сейсмічного впливу. Це дозволило встановити допустимі норми вібрації для будівель та споруд м. Кривий Ріг, які знаходяться в межах санітарно-захисної зони кар'єру «Південний» ТОВ «РУДОМАЙН».

4. Загальними критеріями безпеки об'єктів, які підлягають збереженню під час вибухів, є допустима швидкість сейсмічних коливань ґрунту біля їх фундаменту і величина співвідношення періоду коливання ґрунту і власного періоду коливань будівлі, а також тривалість сейсмічних коливань ґрунту.

5. Визначення швидкості сейсмічних коливань ґрунту базується на теоретичному коефіцієнті K , який залежить від умов проведення вибуху та поширення сейсмічних вибухових хвиль. За результатами досліджень інтенсивності сейсмічних коливань ґрунту в основі фундаментів житлових будівель та споруд, було встановлено, що цей коефіцієнт K має дуже велику розбіжність між теоретичними і фактичними значеннями. Тому на основі практичних досліджень вдосконалено методику моніторин-

гу та визначення прогнозованої швидкості сейсмічних коливань ґрунту шляхом застосування експериментально отриманого коефіцієнту K по профілю розповсюдження сейсмічних хвиль;

6. Допустима швидкість сейсмічних коливань ґрунту будівель, наближених до межі санітарно захисної зони кар'єру «Південний» ТОВ «РУДОМАЙН», при частоті нижче 20 Гц складає 0,4 см/с, що відповідає II балам за шкалою MSK-64. Такі коливання не становлять загрози житловим будівлям, що перебувають в задовільному стані.

Результати постійного моніторингу вібрації (швидкості сейсмічних коливань ґрунту і надлишкового тиску на фронті ударної повітряної хвилі), які представлені в таблиці 2 та на рис. 2 показують, що інтенсивність сейсмічних коливань ґрунту на межі санітарно-захисної зони - значно нижче допустимої.

Список літератури

1. Ржевский В.В. Открытые горные работы, ч. 1, 2. М.: Недра, 1985.
2. Мельников Н.В. Краткий справочник по открытым горным работам.
3. Новожилов М.Г. Технология открытой разработки, т. 1, 2. М., 1971.
4. Бойко В.В. О критериях сейсмической опасности промышленных взрывов / В.В. Бойко, А.А. Кузьменко, Т.В. Хлевнюк // Вісник Національного технічного університету України "КПІ". Серія "Гірництво": Зб. наук. праць. – 2005 – № 12. – С. 45–52.
5. Стрілець О.П. (2016). Особливості технології буровибухових робіт на кар'єрах будівельної сировини в умовах зменшеної санітарно-захисної зони. Український союз інженерів взривників, бюллетень 3 (31), - С. 9-13.
6. ДСТУ 4704:2008 «Проведення промислових вибухів. Норми сейсмічної безпеки». – Київ.: Держспоживстандарт України, 2009.– 11 с..
7. ДСТУ 7116:2009 «Вибухи промислові. Методи визначення фактичної сейсмічної стійкості будинків і споруд». – Київ.: Держспоживстандарт України, 2010.– 6 с.
8. ДСТУ 7117:2009 «Вибухи промислові. Методи визначення тиску на фронті ударної повітряної хвилі та границі безпечної зони». – Київ.: Держспоживстандарт України, 2010.– 9 с.
9. ДБН В.1.1-12:2014 «Будівництво у сейсмічних районах України» – Київ.: Міністерство регіонального розвитку будівництва та житлово-комунального господарства України, 2014. – 110 с.
10. ДСТУ Б В.1.1-28:2010 «Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. Шкала сейсмічної інтенсивності». – Київ.: Мінрегіонбуд України, 2011. – 79 с.

УДК 658.562.64: 622.3

А.А. АЗАРЯН, д-р техн. наук, проф, А.А. ТРАЧУК, канд. техн. наук,

Криворізький національний університет

О.В. ШВИДКИЙ, інженер-програміст, ТОВ «Рудпромгеофізика»

ОПЕРАТИВНИЙ КОНТРОЛЬ ВМІСТУ ЗАЛІЗА У ПОДРІБНЕНІЙ ГІРНИЧІЙ МАСІ

Мета. Ґрунтуючись на результатах теоретичних, лабораторних і промислових випробувань, рекомендовано технологію оперативного контролю вмісту заліза у подрібненій гірській масі.

Методи. Використано математичні методи оцінювання розподілення помилок за законом Гауса, визначення апаратурної похибки, яка здебільшого визначається величиною статистичної похибки.

Наукова новизна. Встановлено, що, при опроміненні проби через матеріал кювети (дно) контрастність в 1.8 разів нижче, ніж при опроміненні безпосередньо матеріалу проби, що призводить до зростання похибки визначення до 0.4-0.5% абс.; величина похибки визначення вмісту значною мірою визначаються кількістю проведених вимірів інтенсивності від проби.

Практична значимість. Мінімальна похибка та максимальна контрастність забезпечуються при попередньому вирівнюванні поверхні проби ущільненням та напрямком пучка випромінювання на поверхню проби безпосередньо. У цьому випадку середня похибка вимірів може бути досягнута (при необхідній кількості вимірів) 0.2% абс. Таким