

РІШЕННЯ ОПТИМІЗАЦІЙНИХ МОДЕЛЕЙ ВИБОРУ І ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ БУРОВИБУХОВИХ РОБІТ ДЛЯ ЕФЕКТИВНОГО РУЙНУВАННЯ АНІЗОТРОПНИХ ГІРСЬКИХ ПОРІД

Рассмотрена задача обоснования оптимальных параметров компенсационной полости и конструкций скважинных зарядов. На основании экспериментальных данных построены аналитические зависимости распределения фракционного состава разрушенной части модели в зависимости от параметров компенсационной полости и сформулированы две нелинейные оптимизационные модели для определения этих параметров. Для зарядов различных конструкций определены оптимальные параметры компенсационной полости. Проведено сравнительный анализ предложенных моделей.

DECISION OF OPTIMIZACIYNNYKH OF MODELS OF VIBORA AND GROUNDS OF PARAMETERS OF EXPLOSION OF WORKS FOR EFFECTIVE DESTRUCTION ANISOTROPIC MOUNTAIN BREEDS

The task of ground of optimum parameters of compensative cavity and constructions of down hole charges is considered. On the basis of experimental information analytical dependences of distributing of factious composition of the blasted part of model are built depending on the parameters of compensative cavity and formulated two nonlinear optimization models for determination of these parameters. For the charges of different constructions the optimum parameters of compensative cavity are certain. The comparative analysis of the offered models is conducted.

Вступ. Підготовка та проведення гірничих виробок різного призначення буровибуховим способом являє собою одну з найважливіших складових технологічного процесу. Це перший етап ланцюга видобутку корисних копалин підземним способом, який визначає, як обсяги видобутку та його ефективність. Вибір раціональної технології, яка забезпечує оптимальну швидкість проведення підготовчих є головною умовою інтенсифікації гірничого виробництва [1-2].

Аналіз стану проблеми. Ефективність проходки може бути підвищена за рахунок рішення ряду задач, що включають, як поліпшення організації праці, так і вдосконалення параметрів буровибухових робіт (БВР) [3-4].

Одним із шляхів поліпшення якості буровибухових робіт є використання енергії вибуху за рахунок більш повного врахування особливостей структури масиву гірських порід, який руйнується, а також конструкції зарядів вибухової речовини (ВР) [5].

У даній роботі досліджується технологічний процес буровибухових робіт та основні показники, що його характеризують.

Мета роботи: підвищення ефективності руйнування гірських порід, шляхом раціонального вибору параметрів БВР – компенсаційна порожнина і

конструкція свердловинного заряду.

Матеріали і результати досліджень. Чисельними дослідженнями встановлено, що характер руйнування гірських порід вибухом залежить не лише від їх фізико-механічних властивостей, гірничо-геологічних умов покладів корисних копалин, але і від параметрів вибухового імпульсу, що має певні граничні умови, які враховуються зі збільшенням глибини розробки родовищ, технологічних розмірів виїмочних блоків з урахуванням напружено-деформованого стану (НДС) масиву. При цьому, форма воронки викиду при руйнуванні статично напруженого середовища вибухом заряду ВР в перетині основи набувають еліптичної форми [6-7].

Для обґрунтування параметрів способу проведення підготовчих виробок [9-10] та встановлення особливостей впливу напруженого стану масиву, граничних умов, параметрів вибухового імпульсу, діючого на стінки зарядної порожнини від вибуху заряду ВР різних конструкцій на характер руйнування напруженого середовища, були проведені експериментальні дослідження на піщано-цементних моделях.

Відповідно до методики досліджень [11], моделі виготовлялися у формі циліндра діаметром 270 мм і заввишки 200 мм (рис. 1).

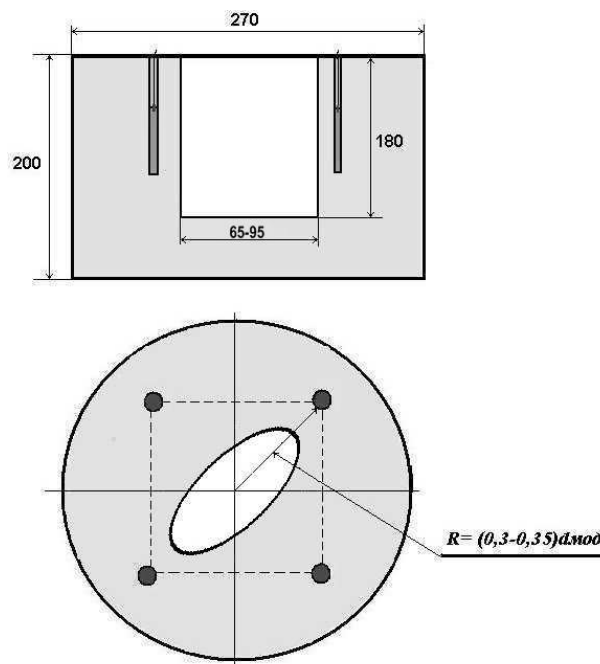


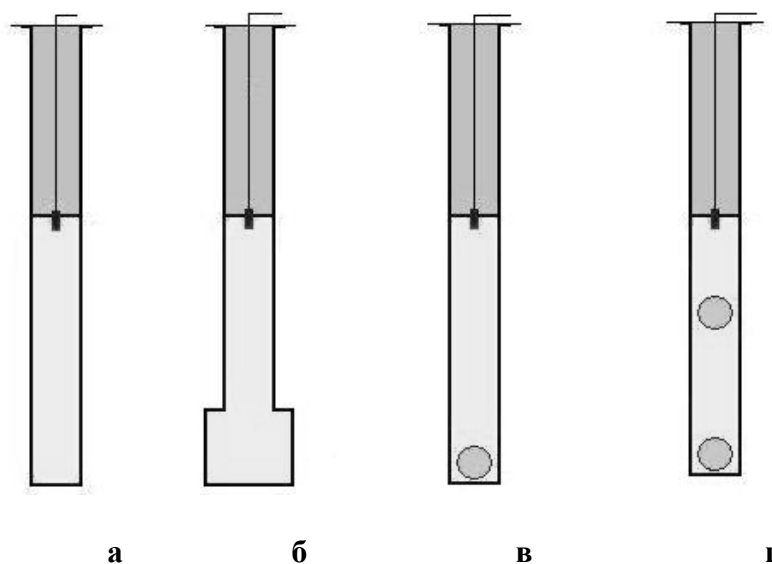
Рис. 1 – Схема циліндричної моделі з комплектом врубових шпурів навколо компенсаційної порожнини

Моделювання напруженого стану середовища створювалося шляхом заливки піщано-цементної суміші в сталеву форму встановлену в циліндричну обойму з фіксацією. Форма моделі виготовлялася з листової сталі, товщина стінок знаходиться в межах 2-3 мм. Піщано-цементна суміш готувалася в пропорції: кварцевий пісок + цемент марки 400 = 1:1 з додаванням 10% води. За результатами досліджень оцінювався характер дроблення моделей, діаметр

середнього шматка і новоуворена поверхня згідно апробованих методик [12].

Вибухову речовину поміщали у патрони циліндричної форми діаметром 0,9-0,95 від діаметра вибухової порожнини. У підготовлених циліндричних порожнинах формувалися такі подовжені заряди: постійного перерізу, з котловим розширенням в торці свердловини, зі сферичною вставкою в торці свердловини, з почерговими сферичними вставками. В якості ВР використовувалася суміш, яка за своїми характеристиками близька до промислових ВР (наприклад, грамоніт 79/21), в наступному співвідношенні: тэн (80%) і тверде ракетне паливо (20%) [13]. Для підривання зарядів виготовлялися патрони-бойовики, розміщенням в патронах циліндричної форми діаметром 5-6 мм 80-100 мг тэну та містка розжарювання з навіскою 10 мг азиду свинцю. Маса сумішевої ВР в зарядах в усіх серіях експериментів складала 3,6 г.

Схеми досліджуваних конструкцій зарядів приведені на рис. 2.



- а) заряд з постійним перерізом; б) заряд з котловим розширенням в торці свердловини;
в) заряд зі сферичною вставкою в торці свердловини; г) заряд з почерговими сферичними вставками

Рис. 2 – Схема конструкцій зарядів вибухової речовини

В процесі експериментів моделі розміщували в металеву вибухову камеру і дистанційно підривали (рис. 3, 4). Внутрішні стінки вибухової камери, щоб уникнути додаткового руйнування матеріалу моделей були закриті конвеєрною стрічкою. Після кожного вибуху результати руйнування моделей та встановлення характеру розподілу гранулометричного складу зруйнованої частки моделі в залежності від конструкції заряду ВР оцінювався методом ситового аналізу із застосуванням набору лабораторних сит. Сита встановлювали зверху вниз від великих розмірів до дрібних. Зруйнований матеріал моделі поміщали на верхнє сито і увесь набір струшували впродовж 10 хвилин. Залишок на кожному ситі зважували на технічних вагах з точністю до 0,1 %.

Сума усіх отриманих класів не повинна (більш ніж на 1 %) розходитися з масою початкової моделі. Сума усіх класів фракцій приймається за 100 %. Для проведення ситового аналізу використаний набір сит з отворами розміром 0,25; 0,5; 1,0; 2,0; 3,0; 5,0; 7,0; 10,0; 12,0; 16,0; 20,0; 26,0; 30,0; 40,0; 50,0; 60,0; 70,0; 80,0 мм.



Рис. 3 – Загальний вигляд циліндричної моделі, розташованій в вибуховій камері, до вибуху



Рис. 4 – Загальний вигляд циліндричної моделі, розташованій в вибуховій камері, після вибуху

В результаті дослідження, фіксувалися такі данні: розмір фракції, середній розмір фракції, маса і-ой фракції, частка і-ой фракції в загальній масі зруйнованої частини моделі, середній діаметр і-ой фракції, площа новоутвореної поверхні і-ой фракції, загальна площа новоутвореної поверхні.

Протягом випробувань було виявлено, що кількість фракцій різного типу залежить від форми компенсаційної порожнини в центрі моделі. Отже необхідно побудувати регресійні моделі, що відображають залежність між фракціями різного типу і діаметрами еліпсу і на їх основі створити оптимізаційні математичні моделі для вибору параметрів компенсаційної порожнини, що забезпечують максимальну кількість середніх фракцій.

Дослідження кореляційної залежності між основними показниками, що

характеризують вибух (розмір фракції, середній розмір фракції, маса i -ої фракції, частка i -ої фракції в загальній масі зруйнованої частини моделі, середній діаметр i -ої фракції, площа новоутвореної поверхні i -ої фракції, загальна площа новоутвореної поверхні) показало, що ці параметри пов'язані досить сильним лінійним кореляційним зв'язком, оскільки відповідні коефіцієнти кореляції знаходяться в межах $[0,7;1]$, тому, в подальшому дослідженні за основний параметр виберемо один з них – а саме частку i -ої фракції в загальній масі зруйнованої частини моделі, дослідимо залежність фракційного складу від параметрів компенсаційної порожнини та побудуємо відповідні рівняння регресії.

Для прикладу розглянемо результати 16-ти дослідів в яких менший діаметр еліпса змінюється від 45 до 75 мм, а більший – від 65 мм до 95 мм. Дані, які отримані у результаті експерименту наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Розподіл фракцій дроблення при руйнуванні моделі зарядами ВР постійного перерізу в залежності від зміни діаметрів еліпса компенсаційної порожнини

№ дос- лід	Менший діаметр, d_1	Більший ді- аметр, d_2	Відношення діаметрів еліпса, x	Кількість мільких фракцій, %	Кількість середніх фракцій, %	Кількість крупних фракцій, %
1	45	65	0,692	48,6	21,3	30,0
2	47	67	0,701	49,4	22,5	28,1
3	49	69	0,710	50,5	22,5	27
4	51	71	0,718	51,8	22,6	25,6
5	53	73	0,726	52,6	23,0	24,4
6	55	75	0,733	53,3	22,9	23,7
7	57	77	0,740	54,1	23,1	22,8
8	59	79	0,747	55	23,3	21,7
9	61	81	0,753	55,7	23,2	21
10	63	83	0,759	56,7	22,9	20,4
11	65	85	0,765	57,2	23	19,8
12	67	87	0,770	58,1	22,5	19,4
13	69	89	0,775	58,7	22,8	18,5
14	71	91	0,780	59,4	23,0	17,6
15	73	93	0,785	60,1	22,9	17,0
16	75	95	0,789	61,2	22,4	16,4

Дослідимо залежність кількості мільких, середніх і крупних фракцій від форми компенсаційної порожнини. Для цього обчислимо коефіцієнти кореляції та кореляційне відношення між досліджуваними параметрами. Результати обчислень наведені в табл. 2, 3.

Таблиця 2 – Значення коефіцієнтів кореляції фракційного складу і параметрів компенсаційної порожнини з використанням заряду постійного перерізу

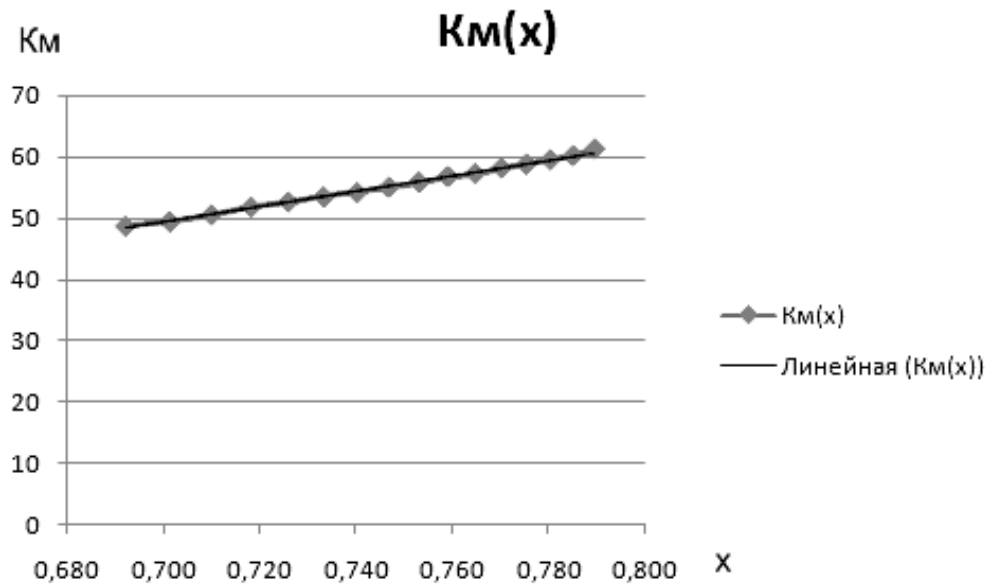
Показники	Менший діаметр компенсаційної порожнини	Більший діаметр компенсаційної порожнини
Кількість мілких фракцій	0,9976	0,99761
Кількість середніх фракцій	0,3766	0,37655
Кількість крупних фракцій	-0,988	-0,9882

Таблиця 3 – Значення кореляційного відношення фракційного складу і параметрів компенсаційної порожнини з використанням заряду постійного перерізу

Показники	Менший діаметр компенсаційної порожнини	Більший діаметр компенсаційної порожнини
Кількість мілких фракцій	0,92871	0,92871
Кількість середніх фракцій	0,67082	0,67082
Кількість крупних фракцій	0,93095	0,93095

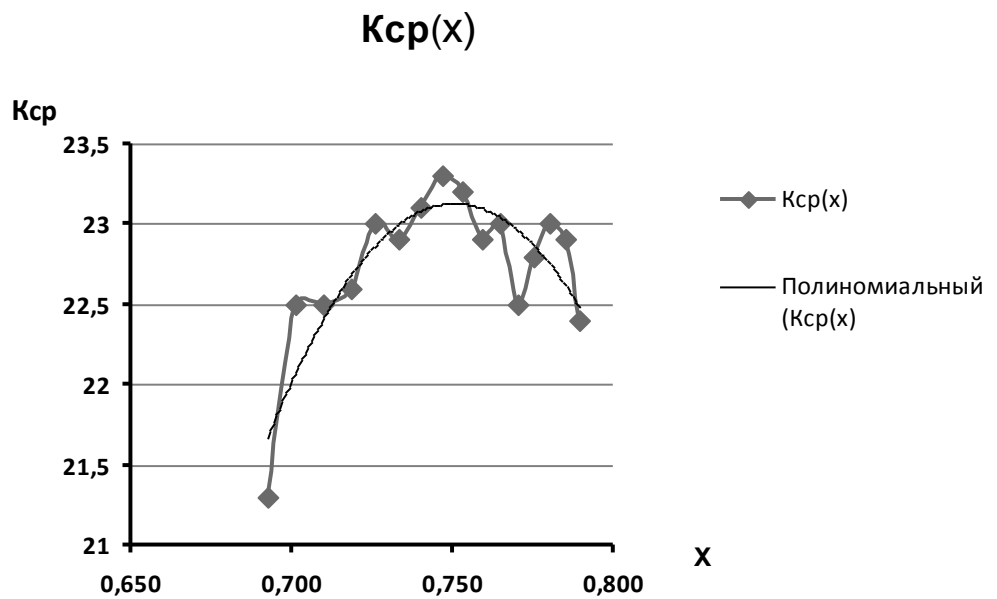
Оскільки, абсолютні величини коефіцієнта кореляції кількості мілких (крупних) фракцій і діаметрів компенсаційної порожнини наближуються до 1, можна зробити висновок, що ці величини пов'язані сильною лінійною залежністю. Кореляційна залежність між діаметрами порожнини і кількістю середніх фракцій мала, але кореляційне відношення знаходиться в допустимих межах, що дозволяє висунути припущення про нелінійну залежність між цими параметрами.

Виходячи з цих припущень, побудуємо лінії регресії, які описують залежність між фракційним складом зруйнованої частини моделі і параметрами компенсаційної порожнини. На рисунках 5, 6, 7 зображено експериментальні дані і побудовані за допомогою функцій Microsoft Office Excel лінії регресії для заряду з постійним перерізом. Графіки підтверджують, що залежність між кількістю мілких фракцій і відношенням діаметрів еліптичної порожнини лінійна, незначне відхилення лінії регресії від вхідних даних показує і коефіцієнт апроксимації, він майже дорівнює 1. Тобто припущення про лінійну залежність справедливе. Лінійна залежність спостерігається також і між кількістю крупних фракцій і відношенням діаметрів порожнини. Відповідні обчислення для кількості середніх фракцій підтверджують, що залежність має нелінійний характер.



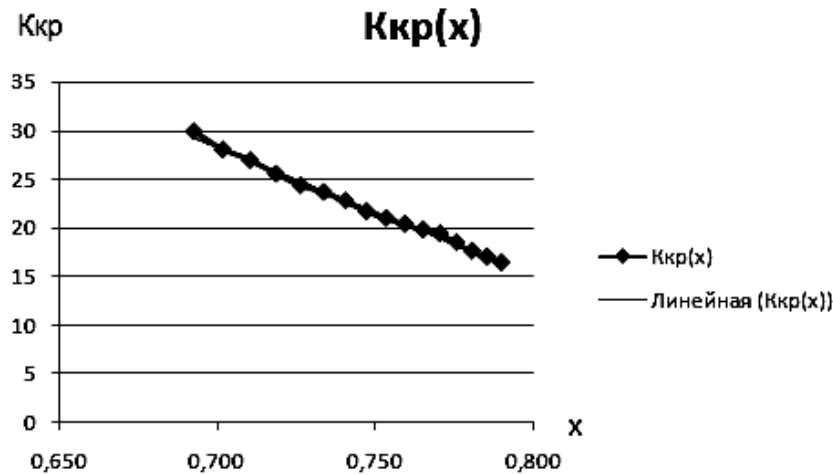
Км – кількість мілких фракцій, %; $x = \frac{d_1}{d_2}$ – відношення діаметрів еліпса, ($x < 1$), рівняння регресії: $K_m = 126,3 \cdot x - 39,15$,

Рис. 5 – Залежність кількості мілких фракцій від відношення діаметрів еліпса.



Кср – кількість середніх фракцій, %; $x = \frac{d_1}{d_2}$ – відношення діаметрів еліпса, ($x < 1$) Рівняння регресії: $K_{cp} = -429,8 \cdot x^2 + 642,5 \cdot x - 219,0$,

Рис. 6 – Залежність кількості середніх фракцій від відношення діаметрів еліпса



$K_{кр}$ – кількість крупних фракцій, %; x – відношення діаметрів еліпса $\frac{d_1}{d_2}$, де $\left(\frac{d_1}{d_2} < 1\right)$; Рі-
вняння регресії: $K_{кр} = -133,3 \cdot x + 121,6$;

Рис. 7 – Залежність кількості крупних фракцій від відношення діаметрів еліпса.

Побудова математичних моделей

На основі отриманих залежностей побудуємо математичні моделі для визначення оптимальних параметрів компенсаційної порожнини. Основним критерієм виберемо кількість середніх фракцій, оскільки за технологічними умовами, вона повинна бути максимальною. Параметром оптимізації в одній моделі візьмемо відношення діаметрів еліптичної компенсаційної порожнини, в іншій – діаметри порожнини.

Математична модель 1

Позначимо d_1 – менший діаметр еліптичної компенсаційної порожнини;
 d_2 – більший діаметр еліптичної компенсаційної порожнини; $K_{ср.зад.}$ – середнє значення кількості середніх фракцій; $K_{кр.зад.}$ – середнє значення кількості крупних фракцій. Тоді математична модель буде мати такий вигляд:

$$K_{ср} \left(\frac{d_1}{d_2} \right) \rightarrow \max$$

За умов:

$$\hat{E}n\delta + \hat{E}i + \hat{E}e\delta = 100,$$

$$\hat{E}n\delta \geq \hat{E}n\delta \cdot \zeta\alpha\ddot{a},$$

$$\hat{E}e\delta \leq \hat{E}e\delta \cdot \zeta\alpha\ddot{a},$$

$$\hat{E}i \geq 0, d_1, d_2 > 0$$

Або використовуючи конкретний вигляд функцій:

$$-429,8 \cdot \left(\frac{d_1}{d_2} \right)^2 + 645,2 \cdot \frac{d_1}{d_2} - 219 \rightarrow \max,$$

КОЛИ:

$$K_M = 126,3 \cdot \frac{d_1}{d_2} - 39,15 > 0,$$

$$K_{кр} = -133,3 \cdot \frac{d_1}{d_2} + 121,6 \geq 22,087,$$

$$d_1, d_2 > 0.$$

Математична модель 2

Для побудови другої моделі використаємо як параметр діаметри еліптичної компенсаційної порожнини d_1, d_2 .

Методом найменших квадратів знайдемо аналітичний вигляд залежності $K_{сп}(d_1, d_2)$, а саме:

$$K_{сп}(d_1, d_2) = -25,651 + 2,436d_1 + 0,011d_2 + 0,04d_1d_2 - 0,027d_1^2 - 0,03d_2^2.$$

Враховуючи обмеження на межі варіювання діаметрів і кількість крупних та мілких фракцій, математична модель матиме такий вигляд:

$$K_{сп}(d_1, d_2) = -25,651 + 2,436d_1 + 0,011d_2 + 0,04d_1d_2 - 0,027d_1^2 - 0,03d_2^2 \rightarrow \max,$$

за умов:

$$50 \leq d_1 \leq 80;$$

$$60 \leq d_2 \leq 100;$$

$$\frac{d_1}{d_2} \leq 1;$$

$$K_{сп} + K_{кр} + K_M = 100;$$

$$K_{кр} \leq K_{кр.зад};$$

$$K_M \leq K_{M.зад}.$$

КОЛИ:

$$K_M = 126,3 \cdot \frac{d_1}{d_2} - 39,15;$$

$$K_{кр} = -133,3 \cdot \frac{d_1}{d_2} + 121,6;$$

$$K_{сп.зад} = 22,744;$$

$$K_{M.зад} = 55,169.$$

Аналогічні моделі було побудовано і для зарядів інших конструкцій.

На основі цих моделей були розв’язані задачі оптимізації для визначення діаметрів компенсаційної порожнини, які максимізують кількість середніх фракцій.

Результати розв’язку задач для зарядів різних конструкцій наведено у таблиці 4.

Таблиця 4 – Результати пошуку оптимальних діаметрів еліпса компенсаційної порожнини

Конструкція заряду	Значення d_1/d_2		Кількість середніх фракцій, %	
	Модель 1	Модель 2	Модель 1	Модель 2
з постійним перерізом	0,75	0,747	23,14	22,74
з котловим розширенням в торці свердловини	0,748	0,746	21,4	21,9
зі сферичною вставкою в торці свердловини	0,751	0,752	23,17	23,41
з почерговими сферичними вставками	0,75	0,748	26,17	26,49

Зауважимо, що для всіх типів зарядів оптимальні значення діаметрів компенсаційної порожнини, що отримані за допомогою моделі 2 приблизно однакові, а саме: менший діаметр еліптичної компенсаційної порожнини становить ≈ 60 мм, а більший ≈ 80 мм. Приблизно однаковим, для кожного типу зарядів, є і відношення діаметрів еліпса, що отримане за допомогою обох моделей.

Цей результат узгоджується із результатами експерименту. Оскільки, при виборі максимальних значень діаметрів еліпса, компенсаційна порожнина буде дуже близько розташовуватися до вибухових зарядів. Таким чином, значно збільшиться кількість мілких фракцій. А при мінімальних значеннях – отримаємо зворотній результат, тобто велику кількість крупних фракцій.

Отже, результати, отримані за розрахунками обох моделей, є близькими, але в першому випадку математична модель розраховує лише відношення діаметрів, а не самі їх значення, тому більш зручною і наглядною, буде друга модель.

За результатами моделювання також очевидно, що найефективнішим, є заряд з почерговими сферичними вставками. Кількість середніх фракцій для нього дорівнює близько 26,49%.

Висновки. Дослідження проведені в роботі показали ефективність і достовірність математичного моделювання для визначення оптимальних параметрів БВР, а саме – параметрів компенсаційної порожнини і конструкції зарядів ВР.

Рекомендована до впровадження конструкція вибухового заряду буде сприяти, як зниженню витрат на буровибухові роботи, так і в цілому на витрати в наступних етапах переробки корисних копалин.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Ищенко, К.С.Повышение эффективности взрывной проходки выработок на рудных шахтах/ К.С. Ищенко, В.Н. Коновал // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. –2006. – № 6. – С.68-70.
2. Ищенко, К.С. Повышение эффективности способов управления взрывным разрушением крепких напряженных пород в глубоких шахтах / К.С. Ищенко, А.К Ищенко // *Уголь*.– 2009.– №2. – С.9–12.
3. Курінний, В.П. Фізичні аспекти руйнування гірських порід вибухом / Курінний В.П. – Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2009. – 158с.
4. Разрушение горных пород энергией взрыва./ Под.ред. Э.И. Ефремова.–К.: Наук. думка, 1987.–263с.
5. Ищенко, К.С. Экспериментальные исследования влияния микроструктуры на характер взрывного разрушения урановых руд Ватутинского месторождения/ К.С. Ищенко, И.Л. Кратковский // *Науковий Вісник НГУ*. – Дніпропетровськ, 2008. –№8. – С.58-64.
6. Ефремов, Э.И. Взрывное разрушение выбросоопасных пород в глубоких шахтах / Э.И. Ефремов, В.Н. Харитонов, И.А. Семенюк. –М.: Недра, 1979. – 253с.
7. Харитонов, В.Н. Управляемое разрушение напряженных и выбросоопасных пород/ В.Н. Харитонов, И.А. Семенюк, Л.Ф. Черныгина. – К.: Наук. думка, 1982. – 176с.
9. Пат. № 79129 Україна МПК 7 F42D3/04 Спосіб проведення гірничої виробки / Булат А.Ф., Іщенко К.С. Осінній В.Я.; заявник і власник патенту ІГТМ НАН України. – № а 2005 01163; замовл. 09.02.2005; надр. 25.05.2007. – Бюл. №7.– 6с.
10. Пат. № 88825 Україна МПК 7 E21C 37/00 Спосіб проведення гірничої виробки / Булат А.Ф., Іщенко К.С. Осінній В.Я.; заявник і власник патенту ІГТМ НАН України. – № а 2008 03047; замовл. 11.03.2008; надр. 25.11.2009. – Бюл. №22.– 6с.
11. Іщенко, К.С. Оптимізація параметрів вруба для ефективного руйнування напруженого середовища вибухом / К.С. Іщенко, С.А. Ус, М.М. Вдовиченко // *Геотехнічна механіка. Міжвід. зб. наук. праць. Ін-т геотехнічної механіки ім. М.С.Полякова НАН України*. – Дніпропетровськ, 2010. – №90. – С.25-34.
12. Барон, Л.И. Определение свойств горных пород / Л.И. Барон, Б.М. Логунцов, Е.З. Позин. – М.: Гос.научн.–техн.изд.лит.по горному делу, 1962. – 332с.
13. Ефремов, Э.И. Оценка эффективного действия смесевых зарядов ВВ с энергоактивными добавками/ Э.И.Ефремов, В.М. Комир, В.А. Никифорова // *Высокоэнергетическая обработка материалов*. – Сб. научн. трудов НГА Украины. – Днепрпетровск: – 1999.–№8.– С.77–80