

на участке, где анкерная крепь устанавливалась с разрывом во времени 1,81 сут (отставание 8 м от забоя), скрепленный анкерами массив был полностью разрушен.

К моменту окончания наблюдений (300 сутки наблюдений) на контрольной замерной станции и станциях, установленных на участках выработки с усиливающей анкерной крепью, введенной без отставания и с отставанием 1, 2, 5 и 8 м от забоя, смещения кровли составили, соответственно, 437, 299, 320, 342, 373 и 410 мм. Размер ЗРП, сформировавшейся вокруг выработки на этих участках, составил, соответственно, 4,75 м; 3,5 м; 3,2 м; 3,9 м; 3,6 м и 5,0 м. Размер зоны неупругих деформаций (ЗНД) в кровле, сформировавшейся вокруг выработки, зафиксированный на всех станциях, не изменился. Максимальное значение коэффициента разрыхления на контрольной станции 1,153, а на остальных станциях не превышает 1,147. При этом замечены следующие особенности деформирования массива:

на участках, где анкерная крепь устанавливалась с разрывом во времени 0; 0,23 и 0,46 сут, ЗРП образовывалась за пределами скрепленного анкерами участка (на удалении 2,0-2,1 м от контура). Скрепленный анкерами массив на этих станциях не разрушен;

на участке, где анкерная крепь устанавливалась с разрывом во времени 1,14 сут, скрепленный анкерами массив был частично разрушен (участок 0-1,1 м);

на участке, где анкерная крепь устанавливалась с разрывом во времени 1,81 сут (отставание 8 м от забоя), скрепленный анкерами массив был полностью разрушен.

Аналогичные результаты были получены на замерных станциях в других выработках.

Выводы и направления дальнейших исследований. Проведенные исследования позволили установить особенности развития зоны разрушенных пород (ЗРП) вокруг выработки с рамно-анкерной крепью, заключающиеся в том, что если на момент установки анкеров размер ЗРП не превышает половину их длины, то ее развитие прекращается, а фронт разрушения переносится на внешнюю границу области скрепленных анкерами пород. При этом коэффициент разрыхления в пределах не разрушенной заанкерванной части массива не превышает 1,03, а размер ЗРП на 30% меньше, чем вокруг выработки с рамной крепью. Так, при формировании к моменту усиления рамной крепи вокруг выработки ЗРП с размерами до половины глубины анкерования, остаточный размер неразрушенной оболочки из укрепленных анкерами пород составляет не менее 50 % от глубины анкерования что позволяет при $(\gamma H/\sigma_{сж}) = 0,35-0,65$ уменьшить смещения контура выработок на 32 до 47 %.

Установленные особенности протекания деформационных процессов во вмещающем выработку массиве будут использованы для обоснования расчетной схемы и постановки теоретической задачи по определению рациональных параметров комбинированных крепей.

Список литературы

1. Указания по рациональному расположению, охране и поддержанию горных выработок на угольных шахтах СССР. ВНИМИ, 1986 – 222 с.
2. СОУ 10.1.05411357.010:2008. Система обеспечения надежного и безопасного функционирования горных выработок с анкерным креплением. Общие технические требования. – 89 с.
3. Черев Д.А. Выбор параметров рамно-анкерной крепи на основе исследования закономерностей изменения внутренних усилий.: Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 225.0022 – Геотехнология (открытая, подземная и строительная), Екатеринбург, 2004.- 18 с. Рукопись поступила в редакцию 17.01.12

УДК 622.026.5

В.Г. КРАВЕЦЬ, О.М.ТЕРЕНТЬЄВ, доктора техн.наук, проф., Т.В. КОСЕНКО, інженер, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

ВИБІР СПОСОБУ ПІДРИВАННЯ ГРАНІТНИХ МАСИВІВ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ МЕТОДУ АНАЛІЗУ ІЄРАРХІЙ

У роботі розглянуто метод аналізу ієрархій при оцінюванні варіантів вибору способу підривання гранітних масивів. Проведено порівняння способів підривання суцільним зарядом, зарядом з проміжками та зарядом в рукавах. Установлено, що найкращим серед розглянутих способів є спосіб підривання зарядами в рукавах.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Руйнування гранітних масивів проводять шляхом підривання моноліту. Для забезпечення належної якості подрібнення та безпеки підривних робіт необхідно здійснити правильний вибір способу підривання масиву. Для руйнування гранітів застосовуються способи підривання суцільним

зарядом, зарядом з проміжками та зарядом у рукавах, які обумовлюються критеріями максимального тиску продуктів вибуху, виходу негабариту та завищення підосви уступу. Тому одним з найважливіших напрямків підвищення ефективності руйнування гранітів на кар'єрі є правильний вибір заряду вибухових речовин при підриванні. Для вибору оптимального способу підривання пропонується застосування методу аналізу ієрархій з ранжуванням критеріїв.

Аналіз досліджень та публікацій. Метод аналізу ієрархій (МАІ) застосовується для визначення вагових коефіцієнтів параметрів процесу, продукту або послуги. Сутність методу аналізу ієрархій [1] полягає в наступному. Маємо деяку мету і сукупність методів, які забезпечують досягнення мети. Обрана мета розкладається на ряд складових завдань або критеріїв. Обрані критерії попарно порівнюються між собою і визначається відносна ступінь важливості кожного критерію в парі. На основі отриманої матриці порівнянь визначається відносна величина ступеня важливості кожного з критеріїв для досягнення поставленої мети загалом. Аналогічно шляхом попарного порівняння для кожного з критеріїв формуються матриці способів, на основі яких визначається ступінь відповідності кожного способу кожному з критеріїв. У подальшому з урахуванням ступеня важливості кожного критерію визначається ваговий коефіцієнт кожного зі способів для досягнення мети. Таким чином, МАІ полягає у виконанні наступних дій: структуруванні задачі у вигляді ієрархічної структури з декількома рівнями; виконанні попарних порівнянь елементів кожного рівня; визначенні коефіцієнтів важливості для кожного рівня; підрахунку комбінованого вагового коефіцієнта і визначенні найкращого варіанта.

Постановка завдання. Задачею дослідження є вибір та обґрунтування способу підривання гранітного масиву із застосуванням методу аналізу ієрархій з метою підвищення якості й ефективності руйнування гірських порід.

Викладення матеріалу та результати. Задачу вибору способу підривання гранітного масиву можна розглядати як задачу прийняття рішень, тому для прийняття рішень можливе застосування методу аналізу ієрархій. Як спосіб руйнування масиву розглядаються способи підривання суцільним зарядом (P_1), зарядом з проміжками (P_2) і зарядом у рукавах (P_3). Для досягнення поставленої мети прийняті наступні вихідні критерії: максимальний тиск продуктів вибуху (H_1), вихід негабариту (H_2), завищення підосви уступу (H_3).

Задача вирішується за таких вихідних даних: застосована вибухова речовина – грамоніт 79/21, висота уступу, де проводяться вибухові роботи, – 15 м. Проведено порівняння способів підривання масиву, що наведені вище, за обраними критеріями.

Максимальний тиск продуктів вибуху P_{\max} визначається за формулою [2]

$$P_{\max} = 0.125 \cdot \rho_{BP} \cdot D_{ce}^2,$$

де ρ_{BP} – щільність вибухової речовини, кг/м^3 ; D_{ce} – діаметр свердловини, м.

На основі розрахунків максимальний тиск для суцільного заряду становить 1,54 ГПа при $v_{\text{дет}} = 3600 \text{ м/с}$ та $\rho_{BP} = 950 \text{ кг/м}^3$ [3]; максимальний тиск для заряду з проміжками 1,08 ГПа, що складає 70% від максимального тиску суцільного заряду при $l_{ce} = 15 \text{ м}$, $l_3 = 10 \text{ м}$, $l'_3 = 7 \text{ м}$, $l_{np} = 3 \text{ м}$; максимальний тиск для заряду в рукавах становить 0,99 ГПа, тобто 64% від максимального тиску суцільного заряду при $S_{ce} = 0,049 \text{ м}^2$, $D_{ce} = 0,25 \text{ м}$ та при $S_{ce} = 0,0314 \text{ м}^2$, $D_{ce} = 0,20 \text{ м}$.

Другим критерієм для ранжування обрано вихід негабариту, який за даними експериментальних досліджень складає для суцільного заряду 5 %, для заряду з проміжками - 7 %, для заряду в рукавах – 6 %. Третім критерієм є завищення підосви уступу, яке за експериментальними даними складає для суцільного заряду – 0 м, для заряду з проміжками - 0,05 м, для заряду в рукавах - 0,3 м.

У цьому випадку кількість обраних критеріїв – 3, кількість застосованих способів – 3, а людина, що приймає рішення, достатньо компетентна. Ранжування являє собою розташування критеріїв у порядку зростання ступеня їх важливості. Прийняті для оцінки бали позначають ступінь важливості для критеріїв або ступінь відповідності способу обраному критерію: 1 – низька, 2 – середня, 3 – висока. Інші градації мають проміжне значення.

Кожному критерію й способу привласнюються бали або ранги, що заносяться в матрицю логічного ранжирування критеріїв порівняння. Результати заносяться до табл. 1.

Таблиця 1

Ступінь важливості критеріїв

Критерій	Максимальний тиск продуктів вибуху, H_1	Вихід негабариту, H_2	Завищення підшви уступу, H_3
	$a_0^1 = 2$	$a_0^2 = 3$	$a_0^3 = 1$
1. Суцільний заряд, P1	$a_1^1 = 1$	$a_1^2 = 3$	$a_1^3 = 3$
2. Заряд з проміжками, P2	$a_2^1 = 2$	$a_2^2 = 1$	$a_2^3 = 3$
3. Заряд у рукавах, P3	$a_3^1 = 3$	$a_3^2 = 2$	$a_3^3 = 3$

Примітка: а – бали (ранги); індекси: верхній – номер критерію, нижній – номер способу.

Подальший алгоритм відповідає класичному методу аналізу ієрархій. Для критеріїв заповнюється матриця і визначається ступінь важливості (табл. 2).

Таблиця 2

Матриця відносного ступеня важливості критеріїв

Спосіб заряджання свердловин	Максим. тиск продуктів вибуху, H_1	Вихід негабариту, H_2	Завищення підшви уступу, H_3	Середнє геометричне або вага критерію	Ступінь важливості критерію
Максим. тиск продуктів вибуху, H_1	$A_0^{11} = \frac{a_0^1}{a_0^1} = 1$	$A_0^{12} = \frac{a_0^1}{a_0^2} = \frac{2}{3}$	$A_0^{13} = \frac{a_0^1}{a_0^3} = 2$	$B_0^1 = \left(A_0^{11} \cdot A_0^{12} \cdot A_0^{13} \right)^{\frac{1}{3}} = 1,1$	$M_0^1 = \frac{B_0^1}{B_0} = 0,33$
Вихід негабариту, H_2	$A_0^{21} = \frac{a_0^2}{a_0^1} = \frac{3}{2}$	$A_0^{22} = \frac{a_0^2}{a_0^2} = 1$	$A_0^{23} = \frac{a_0^2}{a_0^3} = 3$	$B_0^2 = \left(A_0^{21} \cdot A_0^{22} \cdot A_0^{23} \right)^{\frac{1}{3}} = 1,65$	$M_0^2 = \frac{B_0^2}{B_0} = 0,50$
Завищення підшви уступу, H_3	$A_0^{31} = \frac{a_0^3}{a_0^1} = \frac{1}{2}$	$A_0^{32} = \frac{a_0^3}{a_0^2} = \frac{1}{3}$	$A_0^{33} = \frac{a_0^3}{a_0^3} = 1$	$B_0^3 = \left(A_0^{31} \cdot A_0^{32} \cdot A_0^{33} \right)^{\frac{1}{3}} = 0,55$	$M_0^3 = \frac{B_0^3}{B_0} = 0,17$
Сума				$B_0 = B_0^1 + B_0^2 + B_0^3 = 3,30$	$M_0 = M_0^1 + M_0^2 + M_0^3 = 1$

Аналіз розрахунків відносного ступеня важливості обраних критеріїв для вибору способу підривання показав, що найбільшу вагу (1,65) має критерій виходу негабариту, а найменшу (0,55) має критерій завищення підшви уступу. Відносний ступінь важливості обраних критеріїв наведено на рис. 1.



Рис. 1. Відносний ступінь важливості обраних критеріїв для вибору способу підривання свердловин

Найбільший ступінь важливості обраних критеріїв для вибору способу підривання має критерій виходу негабариту - 0,50, далі йдуть: критерій максимального тиску продуктів вибуху – 0,33, критерій завищення підшви уступу – 0,17.

Для попарного порівняння способів підривання заповнюються відповідні матриці по кожному з критеріїв (табл. 3-5).

Таблиця 3

Ступінь важливості способів підривання за критерієм максимального тиску продуктів вибуху (H_1)

Спосіб заряджання свердловини	Суцільний заряд, P_1	Заряд з проміжками, P_2	Заряд у рукавах, P_3	Середнє геометричне (вага)	Ступінь відповідності критерію 1
Суцільний заряд, P_1	$A_{11}^1 = \frac{a_1^1}{a_1^1} = 1$	$A_{12}^1 = \frac{a_1^1}{a_2^1} = \frac{1}{2}$	$A_{13}^1 = \frac{a_1^1}{a_3^1} = \frac{1}{3}$	$B_1^1 = \left(A_{11}^1 \cdot A_{12}^1 \cdot A_{13}^1 \right)^{\frac{1}{3}} = 0,55$	$M_1^1 = \frac{B_1^1}{B^1} = 0,17$
Заряд з проміжками, P_2	$A_{21}^1 = \frac{a_2^1}{a_1^1} = 2$	$A_{22}^1 = \frac{a_2^1}{a_2^1} = 1$	$A_{23}^1 = \frac{a_2^1}{a_3^1} = \frac{2}{3}$	$B_2^1 = \left(A_{21}^1 \cdot A_{22}^1 \cdot A_{23}^1 \right)^{\frac{1}{3}} = 1,10$	$M_2^1 = \frac{B_2^1}{B^1} = 0,33$
Заряд у рукавах, P_3	$A_{31}^1 = \frac{a_3^1}{a_1^1} = 3$	$A_{32}^1 = \frac{a_3^1}{a_2^1} = \frac{3}{2}$	$A_{33}^1 = \frac{a_3^1}{a_3^1} = 1$	$B_3^1 = \left(A_{31}^1 \cdot A_{32}^1 \cdot A_{33}^1 \right)^{\frac{1}{3}} = 1,65$	$M_3^1 = \frac{B_3^1}{B^1} = 0,50$
Сума				$B^1 = B_1^1 + B_2^1 + B_3^1 = 3,30$	$M^1 = M_1^1 + M_2^1 + M_3^1 = 1$

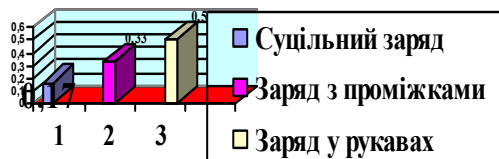


Рис. 2. Відносний ступінь відповідності способів підривання критерію 1

має спосіб підривання зарядами в рукавах – 0,50, а мінімальне – спосіб підривання суцільними зарядами – 0,17 (рис. 2).

Таблиця 4

Ступінь важливості способів підривання за критерієм виходу негабариту (H_2)

Спосіб заряджання свердловини	Суцільний заряд, P_1	Заряд з проміжками, P_2	Заряд у рукавах, P_3	Середнє геометричне (вага)	Ступінь відповідності критерію 2
Суцільний заряд, P_1	$A_{11}^2 = 1$	$A_{12}^2 = 3$	$A_{13}^2 = \frac{3}{2}$	$B_1^2 = 1,65$	$M_1^2 = 0,50$
Заряд з проміжками, P_2	$A_{21}^2 = \frac{1}{3}$	$A_{22}^2 = 1$	$A_{23}^2 = \frac{1}{2}$	$B_2^2 = 0,55$	$M_2^2 = 0,17$
Заряд у рукавах, P_3	$A_{31}^2 = \frac{2}{3}$	$A_{32}^2 = 2$	$A_{33}^2 = 1$	$B_3^2 = 1,10$	$M_3^2 = 0,33$
Сума				$B^2 = 3,30$	$M^2 = 1,0$

Аналіз розрахунків відносного ступеня важливості способів підривання за критерієм 2 показав, що найбільшу вагу (1,65) має суцільний заряд зі ступенем важливості (0,50), найменшу вагу (0,55) при важливості (0,17) має заряд з проміжками (рис. 3).

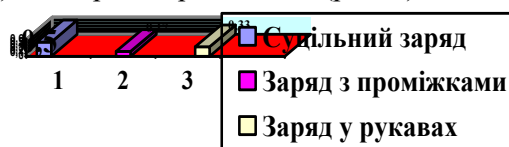


Рис. 3. Відносний ступінь відповідності способів підривання критерію 2

Таблиця 5

Ступінь важливості способів підривання за критерієм завищення підосви уступу (H_3)

Спосіб заряджання свердловини	Суцільний заряд, P_1	Заряд з проміжками, P_2	Заряд у рукавах, P_3	Середнє геометричне (вага)	Ступінь відповідності критерію 2
Суцільний заряд, P_1	$A_{11}^3 = 1$	$A_{12}^3 = 1$	$A_{13}^3 = 1$	$B_1^3 = 1$	$M_1^3 = 0,33$
Заряд з проміжками, P_2	$A_{21}^3 = 1$	$A_{22}^3 = 1$	$A_{23}^3 = 1$	$B_2^3 = 1$	$M_2^3 = 0,33$
Заряд у рукавах, P_3	$A_{31}^3 = 1$	$A_{32}^3 = 1$	$A_{33}^3 = 1$	$B_3^3 = 1$	$M_3^3 = 0,33$
Сума				$B^3 = 3$	$M^3 = 1,0$

Аналіз розрахунків відносного ступеню відповідності способів підривання критерію 3 (критерію завищення висоти уступу) показав, що всі критерії мають однакову вагу, яка становить 1, та однаковий ступінь відповідності – 0,33.

Підсумкове значення вагових коефіцієнтів для вибору оптимального способу підривання гранітних масивів за певними критеріями наведено у табл. 6.

Таблиця 6

Значення вагових коефіцієнтів

	Макс. тиск продуктів вибуху, H_1	Вихід негабариту, H_2	Завищення підосви уступу, H_3	Ваговий коефіцієнт
Суцільний заряд, P_1	$M_1^1 = 0,17$	$M_1^2 = 0,50$	$M_1^3 = 0,33$	$N_1 = M_1^1 \cdot M_0^1 + M_1^2 \cdot M_0^2 + M_1^3 \cdot M_0^3 = 0,362$
Заряд з проміжками, P_2	$M_2^1 = 0,33$	$M_2^2 = 0,17$	$M_2^3 = 0,33$	$N_2 = M_2^1 \cdot M_0^1 + M_2^2 \cdot M_0^2 + M_2^3 \cdot M_0^3 = 0,250$
Заряд у рукавах, P_3	$M_3^1 = 0,50$	$M_3^2 = 0,33$	$M_3^3 = 0,33$	$N_3 = M_3^1 \cdot M_0^1 + M_3^2 \cdot M_0^2 + M_3^3 \cdot M_0^3 = 0,386$
Ступінь важливості критеріїв	$M_0^1 = 0,33$	$M_0^2 = 0,50$	$M_0^3 = 0,17$	

Аналіз розрахунків вагових коефіцієнтів для розглянутих способів підривання показав, що найбільше значення (0,386) має спосіб підривання зарядами в рукавах, а найменше (0,250) спосіб підривання зарядами з проміжками (рис. 4.)

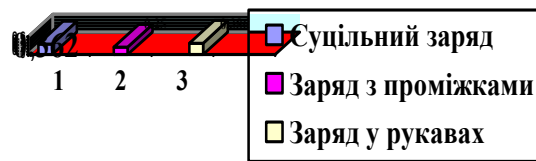


Рис. 4. Вагові коефіцієнти для вибору способу підривання

Висновки та напрямок подальших досліджень. 1. На основі методу аналізу ієрархій проведено порівняння способів підривання гранітних масивів суцільним зарядом, зарядом з проміжками та зарядом у рукавах відповідно до критеріїв максимального тиску продуктів вибуху, виходу негабариту, завищення підосви уступу.

2. Аналіз розрахунків відносного ступеня важливості обраних критеріїв показав, що найбільшу вагу (1,65) має критерій виходу негабариту, а найменшу (0,55) має критерій завищення підосви уступу.

3. У результаті порівняння встановлено, що ваговий коефіцієнт для способів підривання в суцільних зарядах, зарядах з проміжками та зарядах у рукавах складає відповідно 0,362; 0,250 та 0,386.

4. Згідно з оцінкою ступеня важливості кожного способу ведення вибухових робіт встановлено, що найкращим способом ведення вибухових робіт при руйнуванні гранітних масивів є спосіб підривання зарядами в рукавах, оскільки він має найбільший ваговий коефіцієнт 0,386.

Список літератури

1. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий [Текст] /Т. Саати – М.: Радио и связь, 1993. – 254 с.
 2. Ефремов Э.И. Справочник по взрывным работам [Текст] /Э.И. Ефремов, А.А. Вовк, - К.: Наукова думка, 1983. – 227 с.
 3. Друкованый М.Ф. Буровзрывные работы на карьерах [Учебник] /М.Ф. Друкованый, В.И. Ильин, Э.И. Ефремов – М.: Недра, 1978. – 390 с.
- Рукопис подано до редакції 19.03.12
УДК 622.83

Б.Ф. КУЧЕР, Д.Ф. МОИСЕЕВ, "ГПИ "Кривбасспроект",
А.В. САЗОНОВ, ООО "Индустриальная группа - Магнетит"

ОБРАЗОВАНИЕ ВОРОНОК-ПРОВАЛОВ В КАРЬЕРЕ ПАО «ЦГОК»

Проведен анализ случаев образования провалов-воронок в подработанном подземными горными работами железорудном карьере. Определено условие (критерий) появления воронок, позволяющее прогнозировать «выход» новых воронок. Предложены меры безопасного ведения горных работ над подземными пустотами.

Ключевые слова: провалы, воронки, свод обрушения, разведка и погашение пустот, контроль потолочины над пустотами, безопасность ведения работ над пустотами.

Карьер № 1 ПАО "ЦГОК" отрабатывает месторождение магнетитовых кварцитов. На расстоянии 300-600 м от контура восточного борта и дна карьера шахтой "Октябрьская" ПАО "Кривбассжелезрудком" отрабатываются залежи природно-богатых руд системами с обрушением руды и вмещающих пород.

От подземных горных работ в карьере внезапно образуются воронки провалы (рис.1), которые представляют опасность для ведения горных работ в карьере.

Провалы поверхности происходят в течение 1-10 и более лет после отработки.

Для принятия мер безопасности необходимо определить условия образования воронок.

По условиям образования воронки делятся [1] на первичные и вторичные.

Первичные воронки – воронки обрушения, до появления которых земная поверхность не имела опасной деформации. Эти воронки образуются при отработке слепых залежей, при отработке верхних горизонтов залежей, выходящих под наносы, при погашении потолочин и междокамерных целиков.