

ГЕОЛОГІЯ ТА ГІРНИЧО-ВИДОБУВНІ РОБОТИ

УДК 622.026.5

**Кравець В.Г., д.т.н., проф., Терентьєв О.М., д.т.н., проф.,
Косенко Т.В., інж.** (Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут», м. Київ)

АНАЛІЗ ІЄРАРХІЙ ПРИ ОЦІНЮВАННІ ВАРІАНТІВ ВИБОРУ СПОСОБУ ПІДРИВАННЯ ДЛЯ РУЙНУВАННЯ ГРАНІТНИХ МАСИВІВ

В роботі застосовано метод аналізу ієрархій для прийняття рішення щодо вибору способу підривання гранітного масиву. Розглядаються способи руйнування масиву суцільним зарядом, зарядом з проміжками та зарядом в рукавах. Найбільш раціональним серед розглянутих є спосіб підривання зарядами в рукавах.

Ключові слова: метод аналізу ієрархій, способи руйнування масиву, критерії оцінки, ваговий коефіцієнт.

В работе применен метод анализа иерархий для принятия решения в отношении выбора способа подрывания гранитного массива. Рассматриваются способы разрушения массива сплошным зарядом, зарядом с промежутками и зарядом в рукавах. Наиболее рациональным среди рассмотренных является способ подрывания зарядами в рукавах.

Ключевые слова: метод анализа иерархий, способы разрушения массива, критерии оценки, весовой коэффициент.

Method of analytic hierarchy process is applied for decision making regarding the selection of method of demolition of the granite massif. Considered methods of demolition of an array are: solid charge, charge with intervals and charge in the sleeves. Most efficient among the considerations is the method of demolition using charges in the sleeves.

Keywords: method for hierarchy analysis, method for demolition of the massif, assessment criteria, weight coefficient.

Постановка проблеми та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями. Руйнування гранітних масивів проводять шляхом підривання моноліту. Від вибору способу підривання залежить якість подрібнення та безпека підричних робіт. Для руйнування гранітів застосовуються способи підривання суцільним зарядом, зарядом з проміжками та зарядом в рукавах, які характеризуються критеріями максимального тиску продуктів вибуху, виходу негабариту та завищення подошви уступу. Тому одним з найважливіших напрямків підвищення ефективності руйнування гранітів на кар'єрі є прави-

льний вибір заряду вибухових речовин при підриванні. Вибір способу руйнування проводиться за допомогою методу аналізу ієрархій з ранжуванням критеріїв.

Аналіз останніх досягнень. Метод аналізу ієрархій (МАІ) знайшов своє застосування 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 (умов). Виконання цих складових забезпечує досягнення поставленої мети. Обрані критерії попарно порівнюються між собою і за 9-ти бальною системою визначається відносний ступінь важливості кожного критерію у парі. На основі отриманої матриці порівнянь визначається значення ступеня важливості кожного з критеріїв для досягнення поставленої мети в цілому. Аналогічно, шляхом попарного порівняння, для кожного з критеріїв формуються матриці способів, на основі яких визначається ступінь відповідності кожного способу кожному з критеріїв. В подальшому з урахуванням ступеня важливості кожного критерію визначається ваговий коефіцієнт кожного зі способів для досягнення мети. Таким чином, МАІ полягає у виконанні наступних дій: структурованні 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 варіанту.

МАІ має достатню ефективність для прийняття рішень за умови великої кількості (більше ніж 5...7) критеріїв і більшого числа способів, які можуть бути реалізовані. Цей метод може успішно використовуватися, коли кількість критеріїв і способів невелика, але суб'єкт, що приймає рішення, не має достатньої компетентності або з інших причин примушений звертатися до думки експертів.

Метою роботи є вибір та обґрунтування способу підривання для підвищення якості і ефективності руйнування гірських порід.

Задачу вибору способу підривання гранітного масиву розглянуто як задачу прийняття рішень. Для прийняття рішень застосований метод аналізу ієрархій. В якості способів руйнування масиву розглянуто способи підривання суцільним зарядом (P_1), зарядом з проміжками (P_2) і зарядом в рукавах (P_3). Для досягнення поставленої мети прийняті наступні вихідні критерії: максимальний тиск продуктів вибуху (H_1), вихід негабариту (H_2), завищення підшови уступу (H_3).

В якості вибухової речовини обрано грамоніт 79/21. Вибухові роботи ведуться на уступі висотою 15 м.

Проведено порівняння способів заряджання свердловин, що наведені вище, за максимальним тиском продуктів вибуху P_{max} [2]

$$P_{max} = 0.125 \cdot \rho_{BP} \cdot D_{дем}^2, \quad (1)$$

де $\rho_{вр}$ – щільність вибухової речовини, кг/м³; $D_{дет}$ – швидкість детонації, м/с.

Максимальний тиск для суцільного заряду становить 1,54 ГПа при $D_{дет} = 3600$ м/с та $\rho_{вр} = 950$ кг/м³ [3]. Максимальний тиск для заряду з проміжками 1,08 ГПа, що складає 70 % від максимального тиску суцільного заряду при $l_{св} = 15$ м, $l_3 = 10$ м, $l'_3 = 3$ м, $l_{пр} = 3$ м. Максимальний тиск для заряду в рукавах становить 0,99 ГПа, тобто 64 % від максимального тиску суцільного заряду при $S_{св} = 0,049$ м², $D_{св} = 0,25$ м, та при $S_{св} = 0,0314$ м², $D_{св} = 0,20$ м.

Другим критерієм 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 підшви 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.

В даному 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 їхньої 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 у матрицю логічного ранжування критеріїв порівняння. Результати заносяться до таблиці 1.

Таблиця 1

Ступінь важливості критеріїв

	Максимальний тиск продуктів вибуху, H_1	Вихід негабариту, H_2	Завищення підшви уступу, H_3
Критерій	$a_0^1 = 2$	$a_0^2 = 3$	$a_0^3 = 1$
1. Суцільний заряд, P_1	$a_1^1 = 1$	$a_1^2 = 3$	$a_1^3 = 3$
2. Заряд з проміжками, P_2	$M_1^1 = 0.17$	$a_2^2 = 1$	$a_2^3 = 3$
3. Заряд в рукавах, P_3	$a_3^1 = 3$	$a_3^2 = 2$	$a_3^3 = 3$

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

Критерії оцінки	Максим. тиск продуктів вибуху, H_1	Вихід негабариту, H_2	Завищення підшви уступу, H_3	Середнє геометричне або вага критерію	Ступінь важливості критерію
Макс. тиск прод. 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				$B_0 = B_0^1 + B_0^2 + B_0^3 = 3,30$	1,00

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 в рукавах, P_3	Середнє геометричне (вага)	Ступінь відповідності критерієві 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 в 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				$B^1 = B_1^1 + B_2^1 + B_3^1 = 3,30$	$M^1 = M_1^1 + M_2^1 + M_3^1 = 1$

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.

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)

Аналіз розрахунків відносного ступеня відповідності способів підривання критерієві 1 (критерієві максимального тиску продуктів вибуху) (табл. 3) показав, що максимальне значення має спосіб підривання зарядами в рукавах – 0,50, а мінімальне – спосіб підривання суцільними зарядами – 0,17.

Таблиця 4

Ступінь важливості способів підривання за критерієм виходу негабариту (H_2)

Спосіб заряджання свердловин	Суцільн. заряд, P_1	Заряд з проміжками P_2	Заряд в рукавах P_3	Середнє геометричне (вага)	Ступінь відповідн критерієві 2
Суцільний заряд, P_1	1	3	3/2	1,65	0,50
Заряд з проміжками P_2	1/3	1	1/2	0,55	0,17
Заряд в рукавах, P_3	2/3	2	1	1,10	0,33
Сума				3,30	1,0

Таблиця 5

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

Спосіб заряджання свердловин	Суцільн. заряд, P_1	Заряд з проміжками, P_2	Заряд в рукавах, P_3	Середнє геометричне (вага)	Ступінь відповідн. критерієві 3
Суцільний заряд, P_1	1	1	1	1	0,33
Заряд з проміжками, P_2	1	1	1	1	0,33
Заряд в рукавах, P_3	1	1	1	1	0,33
Сума				3	1,0

Таблиця 6

Значення вагових коефіцієнтів

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

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.

Аналіз розрахунків відносного ступеня відповідності способів підривання критерієві 3 (критерієві 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 таблиці 6.

Аналіз розрахунків відносного ступеня відповідності способів підривання критерієві 3 (критерієві 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.

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

Висновки:

1. На основі методу аналізу ієрархій проведено порівняння способів підривання гранітних масивів суцільним зарядом, зарядом з проміжками та зарядом в руках.

2. В результаті порівняння встановлено, що ваговий коефіцієнт для способів підривання в суцільних зарядах, зарядах з проміжками та зарядах в руках складає відповідно 0,362; 0,250 та 0,386.

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

1. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий / Т. Саати. – М.: Радио и связь, 1993. – 254 с. 2. Ефремов Э. И. Справочник по взрывным работам / Э. И. Ефремов, А. А. Вовк. – К. : Наукова думка, 1983. – 227 с. 3. Друкованый М. Ф. Буровзрывные работы на карьерах / М. Ф. Друкованый, В. И. Ильин, Э. И. Ефремов – М. : Недра, 1978. – 390 с.

Рецензент: д.т.н., професор Самедов А.М. (НТТУ “КПІ“, м. Київ)