

**Проаналізовано та проведено порівняння основних способів мінімізації пилоутворення з відвалів гранітних кар'єрів. Визначено найбільш ефективний спосіб мінімізації пилоутворення на основі методу знаходження найкращої альтернативи в задачах багатокритеріального вибору. Доведено, що найвищий показник функції приналежності серед інших має спосіб мінімізації пилоутворення, що відповідає нанесенню полімерного розчину, і становить 0,95**

**Ключові слова:** відвал, знепилення, кар'єр, концентрація, метод знаходження найкращої альтернативи, пил

**Проанализировано и проведено сравнение основных способов минимизации пылеобразования из отвалов гранитных карьеров. Определен наиболее эффективный способ минимизации пылеобразования на основе метода нахождения наилучшей альтернативы в задачах многокритериального выбора. Доказано, что самый высокий показатель функции принадлежности среди других имеет способ минимизации пылеобразования, что соответствует нанесению полимерного раствора, и составляет 0,95**

**Ключевые слова:** отвал, обеспыливание, карьер, концентрация, метод нахождения наилучшей альтернативы, пыль

УДК 628.511  
DOI: 10.15587/1729-4061.2016.64840

# ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ СПОСОБІВ МІНІМІЗАЦІЇ ПИЛОУТВОРЕННЯ З ВІДВАЛІВ ГРАНІТНИХ КАР'ЄРІВ

**О. Я. Тверда**  
Кандидат технічних наук, старший викладач\*  
E-mail: tverdaya@ukr.net

**К. К. Ткачук**  
Доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри\*  
E-mail: kkttkk297@gmail.com

**Ю. А. Давиденко\***  
E-mail: uliyadavydenko@gmail.com  
\*Кафедра інженерної екології  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут»  
пр. Перемоги, 37, м. Київ, Україна, 03056

## 1. Вступ

Гірничовидобувна галузь є одним з найбільших забруднювачів атмосфери та навколишнього середовища в цілому. Основне місце по забрудненню атмосферного повітря займає відкрита розробка родовищ корисних копалин.

Основними джерелами пилоутворення при розробці родовищ відкритим способом є: буріння, підривання, первинне та вторинне подрібнення, виймово-навантажувальні роботи та операції, пов'язані з переміщенням гірської маси. Окрім того, на рівень забруднення атмосфери впливають процеси, безпосередньо пов'язані з веденням відкритих гірничих робіт (відвалоутворення). Інтенсивними джерелами пилоутворення на гірничовидобувних підприємствах є відвали гірських порід (рис. 1) [1].

Традиційні способи боротьби з пилом при руйнуванні гірських порід ведуться в трьох напрямках і включають попередження пилоутворення, пилоподавлення та пиловловлювання.

В умовах підвищення продуктивності гірничовидобувних підприємств та збільшення глибини кар'єрів збільшується обсяг переподрібленої (нетоварної) фракції гірської маси, що призводить до збільшення кількості відвалів або їх об'ємів. Таким чином створюються умови для накопичення шкідливостей (особливо пилу внаслідок їх пиління) і забруднення атмосфери як в межах санітарно-захисної зони, так і поза нею. Така ситуація суттєво підвищує ризик захворювання

працівників підприємства та населення прилеглих територій пневмоконіозом.

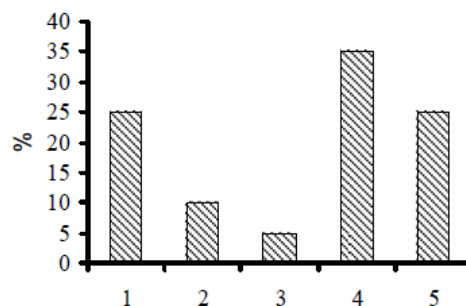


Рис. 1. Пиловий баланс атмосфери при руйнуванні гірських порід: 1 – пил з поверхонь відвалів; 2 – буріння свердловин; 3 – транспортування гірської маси; 4 – екскавація; 5 – підривні роботи

В основному це відбувається внаслідок відсутності необхідних знань щодо вибору прийнятних способів і засобів пилоподавлення, недостатньої ефективності природоохоронних заходів, що використовуються, а також відсутності належного контролю за джерелами пилоутворення. Усунення вказаних недоліків дасть можливість суттєво знизити обсяги пилоутворення в атмосферу та підвищити рівень екологічної безпеки відкритої розробки родовищ корисних копалин, що на сьогодні є актуальною науково-практичною задачею.

## 2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

На сьогоднішній день у багатьох випадках концентрація пилу з відвалу кар'єру перевищує встановлені гранично допустимі норми [2] і тому потрібно застосувати методи знепилення.

Аналіз наукових досліджень і технічних рішень, спрямованих на зниження об'ємів пилу в умовах відкритих гірничих робіт, показав, що основним способом боротьби з пилом на точкових і протяжних джерелах пиловиділення є гідрознепилення (зрошення), тобто уловлювання та осадження твердих частинок пилу краплями рідини [3].

Закріплюючою речовиною може бути вода, полімерні речовини, бітумна емульсія та інше. Для кожного випадку потрібно робити підбір індивідуально враховуючі характеристику відвалу, місце розташування, метеорологічні умови, хімічний склад розкритих порід і т. д.

У роботі [4] наведено експериментальні дані щодо ефективності використання в якості закріплювача сухих поверхонь водний розчин хлоридів, зокрема хлоридів магнію – розчин природного бішофіту ( $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ ). Цей розчин має 4-й клас небезпеки, не горить, вибухобезпечний, має порівняно низьку корозійну здатність, може використовуватись в діапазоні температур від  $+55^\circ C$  до  $-35^\circ C$  та виробляється в Україні.

Окрім того, потрібно акцентувати увагу на технічній стороні процесу знепилення, тобто за допомогою чого відбувається нанесення закріплюючої речовини на поверхню, що пилить.

Відомі різноманітні типи і конструкції розпилювачів, але в основі їх лежить єдиний принцип: надати потоку рідини найбільш нестійкої форми та конфігурації (тонкої пелени) та створення процесу зростання хвиль збурення різноманітними зовнішніми чинниками (механічними вібраціями, направленим потоком газу, електричним полем і т. д.) [5].

Проведений у роботі [6] аналіз можливостей різноманітних розпилювачів показав, що їх більшість характеризується своєю вузькою спеціалізацією і лише відцентрована форсунка найбільш універсальна, проста, компактна та найбільш теоретично обґрунтована. Це дозволяє гнучко змінювати її параметри. Форсунку завжди можна вписати в найбільш різноманітні умови витрат по розчину, куту розпилу та дисперсності крапель.

Одним із основних розпилювачів є аерозольна гармата (рис. 2), яка являє собою циліндричний корпус, всередині якого встановлено вентилятор осьового типу. Використання аерозольних гармат пов'язане з впливом вітрового навантаження на поширення факела. Збіг напрямку вітру (або його проекції) з напрямком розпилення сприяє збільшенню відстані поширення аерозолю і використання «сланкого» ефекту буде найбільш ефективним. На даний момент використання аерозольних гармат пилоподавлення обмежується вартістю придбання, встановлення та

обслуговування обладнання. Практично можливе виробництво і установка аерозольних гармат будь-якої конфігурації в широкому діапазоні вибору насиченості аерозолю, який подається і дальності його розпилення [3].



Рис. 2. Поширення водного аерозолю по поверхні за допомогою аерозольної гармати

В тих випадках, коли відвантаження пустої породи відбувається з великою інтенсивністю, застосування способів ізолювання поверхні не є раціональним і тоді, як правило, застосовуються методи тимчасового закріплення поверхні. Одним з них є обробка поверхні масиву бітумною емульсією.

Приклад використання бітумної емульсії подано в роботі [7]. Цей спосіб здійснюється шляхом нанесення шару бітуму товщиною 0,5–1 мм на суху поверхню. 60 %-ва бітумна емульсія, яка розпадається, на сульфітно-спиртовому емульгаторі, повільно розбавляється до 20 %-вої на місці виконання робіт та наноситься на поверхню уступів гідромонітором зрошувальної машини на базі автосамоскиду КРАЗ–222, що використовується в кар'єрах для зрошення екскаваторних вибоїв.

Існує безліч модифікацій бітумної емульсії, основні з яких представлені в роботах [8–9]. Перевагами бітумної емульсії є утворення тонкої плівки, яка перешкоджає здуванню пилу з відвалу кар'єру протягом 10–12 місяців та її дешевизна (в 1,5 рази) в порівнянні з закріпленням полімерами [10].

Також часто ефективним є використання комбінацій методів знепилення відвалів кар'єрів. В роботі [11] показано спосіб збереження техногенної мінеральної сировини, складованої в відвали відходів рудозбагачення, створенням дернини без нанесення родючого шару. Успішність утворення стійкої дернини без нанесення родючого шару, забезпечується створенням полімерного покриття, яке припиняє вітрову і водну ерозію, покращує екологічний фон коренезаселених горизонтів, тим самим забезпечує стабільно високу продуктивність травостою та швидке утворення дернини.

Незважаючи на значні масштаби проведених досліджень в області зниження розсіювання та здування пилу і запропонованих інженерних рішень, практичні результати досить скромні, що пов'язане з тим, що недостатньо уваги приділено аспектам підвищення ефективності і працездатності запропонованих при-

строїв, а також, раціоналізації їх роботи. Немає єдиного, поширеного алгоритму вибору способу мінімізації пилоутворення з відвалів кар'єрів, який би враховував як економічні, так і екологічні критерії вибору.

### 3. Мета та задачі дослідження

Метою роботи є аналіз та порівняння способів мінімізації пилоутворення з відвалів кар'єрів та визначення найбільш раціонального способу на основі методу знаходження найкращої альтернативи в задачах багатокритеріального вибору.

Задачами дослідження є:

- обрання альтернатив, критеріїв та коефіцієнтів вагомості для застосування методу знаходження найкращої альтернативи з метою порівняння існуючих способів мінімізації пилоутворення з відвалів кар'єрів;
- визначення раціонального та найбільш доцільного способу знеплення відвалу кар'єру згідно даного методу.

### 4. Розробка алгоритму вибору найбільш ефективного способу мінімізації пилоутворення з відвалів кар'єрів

Для відвалів, відкосів кар'єрів, шламосховищ характерні великі обсяги пиловиділення. Для зниження їх використовують наступні способи:

- зрошення водою з добавками хімічно активних речовин, що забезпечують закріплення поверхні;
- закріплення бітумною емульсією;
- закріплення поверхні, що пилить, латексами;
- озеленення неробочих площ.

Розрізняють технологічні, механічні, фізико-хімічні, біологічні та рекультивацийні способи боротьби з виділенням пилу з відвалів кар'єрів.

Технологічні способи передбачають зміну способу складування; зміну складу і стану продуктів складування.

З механічних способів поширені створення загороджень, які запобігають поширенню пилу, і суцільне покриття поверхні, що пилить, матеріалом.

Серед фізико-хімічних слід зазначити гідрознеплення, стабілізацію поверхні, що пилить, полімерами, органічними і неорганічними речовинами та зміну фізичних властивостей поверхні, що пилить, (електризація, намагнічування та ін.) [12, 13].

Для обрання найкращого заходу знеплення відвалу кар'єру серед всієї сукупності запропоновано використання методу знаходження найкращої альтернативи в задачах багатокритеріального вибору. Цей метод дозволяє виконати порівняльний аналіз вагомості альтернативних заходів за актуальними критеріями [14]. Особливістю запропонованого методу є те, що необхідно переглядати вагові коефіцієнти ( $w_j \geq 0, \sum w_j = 1$ ) для кожного критерія  $R_j$ , що дозволяє з більшою точністю рекомендувати до впровадження спосіб зменшення об'єму пилу з відвалу.

Алгоритм вирішення задачі зводиться до наступних кроків [15–17].

1. Побудова функції приналежності заданих відносин переваги:

$$\mu_{R_j}(x, y) = \begin{cases} 1, & x > y, x \sim y, \\ 0, & \text{інакше.} \end{cases} \quad (1)$$

2. Визначення 1-ї згортки і побудова функції приналежності:

$$Q_1 = R_1 \cap R_2 \cap \dots \cap R_n, \quad (2)$$

$$\mu_{Q_1}(x, y) = \min \{ \mu_{R_1}(x, y), \dots, \mu_{R_n}(x, y) \}. \quad (3)$$

3. Визначення відношення строгої переваги по 1-й згортці.  $Q_1^s$ , тобто ступеню, з якою альтернатива  $x > y$  і побудова функції приналежності:

$$\mu_{Q_1^s}(x, y) = \max \{ 0, \mu_{Q_1}(x, y) - \mu_{Q_1}(y, x) \}. \quad (4)$$

4. Визначення безлічі недомінуючих альтернатив, тобто ступеня, з якою альтернатива  $x$  не домінує жодній іншій альтернативі. Побудова функції приналежності

$$\mu_{Q_1^{ns}}(x) = 1 - \max \mu_{Q_1^s}(x, y). \quad (5)$$

5. Визначення другої згортки і побудова функції приналежності:

$$Q_2 = \sum_{j=1}^n w_j R_j, \quad (6)$$

$$\mu_{Q_2}(x, y) = \sum_{j=1}^n w_j \mu_{R_j}(x, y). \quad (7)$$

6. Визначення відношення переваги по другій згортці  $Q_2^s$  і побудова функції приналежності:

$$\mu_{Q_2^s}(x, y) = \max \{ 0, \mu_{Q_2}(x, y) - \mu_{Q_2}(y, x) \}. \quad (8)$$

7. Визначення недомінуючих альтернатив по другій згортці і побудова функції приналежності.

$$\mu_{Q_2^{ns}}(x) = 1 - \max \mu_{Q_2^s}(x, y). \quad (9)$$

8. Визначення недомінуючих альтернатив по обох згортках та побудова функції приналежності.

9. Визначення найкращої альтернативи по обох згортках.

Найкращою альтернативою слід вважати таку альтернативу  $x_0$ , для якої ступінь недомінування максимальний

$$\mu_{Q_2^{ns}}(x_0) = \max \mu_{Q_2^{ns}}(x). \quad (10)$$

### 5. Результати досліджень по порівняльній оцінці способів пилоподавлення на відвалах

З використанням наведеного методу виконано вибір оптимального заходу зменшення концентрації пилу з відвалу типового гранітного кар'єру [18]. В табл. 1 наведено перелік основних заходів знеплення відвалу та критеріїв, за якими проводилась оцінка заходів, також подано вагові коефіцієнти для кожного критерія, які були визначені групою експертів у даній галузі.

Альтернативами, тобто основними заходами зменшення об'єму пилу відвалу визначено гідрознепи-

лення, нанесення полімерних розчинів, обробка бітумною емульсією, використання аерозольних гармат, створення загороджень, які запобігають поширенню пилу, створення захисного шару з нижчих або вищих рослин.

До критеріїв віднесено економічні затрати на проведення заходу боротьби з пилом, питома витрата використовуваної речовини, можливість використання для пиловловлення в повітрі, зниження пилових викидів, максимальне віддалення від відвалу установок та устаткування для здійснення заходу, виникнення нових шкідливих сполук під час проведення пилоосадження та можливість використання в різні пори року.

Таблиця 1

Перелік основних заходів зменшення концентрації пилу відвалу кар'єру та критеріїв їх оцінки

Альтернативи		Критерії		Коефіцієнт вагомості
X <sub>1</sub>	Гідрознепилення	R <sub>1</sub>	Економічні затрати на проведення заходу боротьби з пилом	0,2
X <sub>2</sub>	Полімерні покриття	R <sub>2</sub>	Питома витрата використовуваної речовини	0,2
X <sub>3</sub>	Обробка бітумною емульсією	R <sub>3</sub>	Можливість використання для пиловловлення в повітрі	0,1
X <sub>4</sub>	Аерозольні гармати	R <sub>4</sub>	Зниження пилових викидів	0,15
X <sub>5</sub>	Створення загороджень, які запобігають поширенню пилу	R <sub>5</sub>	Максимальне віддалення від відвалу установок та устаткування для здійснення заходу	0,1
X <sub>6</sub>	Створення захисного шару з нижчих рослин	R <sub>6</sub>	Виникнення нових шкідливих сполук під час проведення пилоосадження	0,15
X <sub>7</sub>	Створення захисного шару з вищих рослин	R <sub>7</sub>	Можливість використання в різні пори року	0,1

На початковому етапі визначено відношення альтернатив за всіма критеріями, після чого побудовано функції приналежності заданих відносин переваги та першої згортки за формулами (1) і (2).

Відношення альтернатив для критерія R<sub>1</sub> можна описати наступним чином: найменш затратним вважається створення захисного шару з нижчих рослин, за ним йде створення захисного шару з вищих рослин, потім гідрознепилення, далі створення загороджень, які запобігають поширенню пилу, після йдуть полімерні покриття, обробка бітумною емульсією, а найбільш затратний – це аерозольні гармати [3, 19]:

$$R_1 : x_6 > x_7 > x_1 > x_5 > x_2, x_2 \sim x_3, x_3 > x_4. \quad (11)$$

На основі відношення альтернатив, побудовано функцію приналежності заданих відносин переваги (табл. 2).

Таблиця 2

Матриця  $\mu_{R_1}(x_i, x_j)$  для критерія R<sub>1</sub>

x <sub>i</sub> /x <sub>j</sub>	x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	x <sub>3</sub>	x <sub>4</sub>	x <sub>5</sub>	x <sub>6</sub>	x <sub>7</sub>
x <sub>1</sub>	1	1	1	1	1	0	0
x <sub>2</sub>	0	1	1	1	0	0	0
x <sub>3</sub>	0	1	1	1	0	0	0
x <sub>4</sub>	0	1	1	1	0	0	0
x <sub>5</sub>	0	1	1	1	1	0	0
x <sub>6</sub>	1	1	1	1	1	1	1
x <sub>7</sub>	1	1	1	1	1	0	1

Аналогічно побудовано матриці  $\mu_{R_2}(x_i, x_j)$ – $\mu_{R_7}(x_i, x_j)$  (табл. 3–8) відповідно до критеріїв R<sub>2</sub>–R<sub>7</sub> формули (12)–(17):

$$R_2 : x_2 > x_3 > x_4 > x_6 > x_7 > x_1 > x_5. \quad (12)$$

Таблиця 3

Матриця  $\mu_{R_2}(x_i, x_j)$  для критерія R<sub>2</sub>

x <sub>i</sub> /x <sub>j</sub>	x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	x <sub>3</sub>	x <sub>4</sub>	x <sub>5</sub>	x <sub>6</sub>	x <sub>7</sub>
x <sub>1</sub>	1	0	0	0	1	0	0
x <sub>2</sub>	1	1	1	1	1	1	1
x <sub>3</sub>	1	0	1	1	1	1	1
x <sub>4</sub>	1	0	0	1	1	1	1
x <sub>5</sub>	0	0	0	0	1	0	0
x <sub>6</sub>	1	0	0	0	1	1	1
x <sub>7</sub>	1	0	0	0	1	0	1

$$R_3 : x_2 \sim x_3 \sim x_4, x_4 > x_1 > x_6 > x_5, x_5 \sim x_7. \quad (13)$$

Таблиця 4

Матриця  $\mu_{R_3}(x_i, x_j)$  для критерія R<sub>3</sub>

x <sub>i</sub> /x <sub>j</sub>	x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	x <sub>3</sub>	x <sub>4</sub>	x <sub>5</sub>	x <sub>6</sub>	x <sub>7</sub>
x <sub>1</sub>	1	0	0	0	1	1	1
x <sub>2</sub>	1	1	1	1	1	1	1
x <sub>3</sub>	1	1	1	1	1	1	1
x <sub>4</sub>	1	1	1	1	1	1	1
x <sub>5</sub>	0	0	0	0	1	0	1
x <sub>6</sub>	0	0	0	0	1	1	1
x <sub>7</sub>	0	0	0	0	1	0	1

$$R_4 : x_6 \sim x_7 \sim x_5, x_5 < x_1, x_1 \sim x_2 \sim x_3 \sim x_4. \quad (14)$$

Таблиця 5

Матриця  $\mu_{R_4}(x_i, x_j)$  для критерія R<sub>4</sub>

x <sub>i</sub> /x <sub>j</sub>	x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	x <sub>3</sub>	x <sub>4</sub>	x <sub>5</sub>	x <sub>6</sub>	x <sub>7</sub>
x <sub>1</sub>	1	1	1	1	1	1	1
x <sub>2</sub>	1	1	1	1	1	1	1
x <sub>3</sub>	1	1	1	1	1	1	1
x <sub>4</sub>	1	1	1	1	1	1	1
x <sub>5</sub>	0	0	0	0	1	1	1
x <sub>6</sub>	0	0	0	0	1	1	1
x <sub>7</sub>	0	0	0	0	1	1	1

$$R_5 : x_4 \succ x_1 \succ x_5, x_5 \sim x_7, x_7 \succ x_6 \succ x_3 \succ x_2. \tag{15}$$

Таблица 6

Матрица  $\mu_{R_5}(x_i, x_j)$  для критерия  $R_5$

$x_i/x_j$	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$
$x_1$	1	1	1	0	1	1	1
$x_2$	0	1	0	0	0	0	0
$x_3$	0	1	1	0	0	0	0
$x_4$	1	1	1	1	1	1	1
$x_5$	0	1	1	0	1	1	1
$x_6$	0	1	1	0	0	1	0
$x_7$	0	1	1	0	1	1	1

$$R_6 : x_5 \sim x_6 \sim x_7, x_7 \succ x_1 \succ x_2, x_2 \sim x_3 \succ x_4. \tag{16}$$

Таблица 7

Матрица  $\mu_{R_6}(x_i, x_j)$  для критерия  $R_6$

$x_i/x_j$	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$
$x_1$	1	1	1	1	0	0	0
$x_2$	0	1	1	1	0	0	0
$x_3$	0	1	1	1	0	0	0
$x_4$	0	1	1	1	0	0	0
$x_5$	1	1	1	1	1	1	1
$x_6$	1	1	1	1	1	1	1
$x_7$	1	1	1	1	1	1	1

$$R_7 : x_2 \sim x_5, x_5 \succ x_1, x_1 \sim x_7 \sim x_3 \sim x_6 \succ x_4. \tag{17}$$

Таблица 8

Матрица  $\mu_{R_7}(x_i, x_j)$  для критерия  $R_7$

$x_i/x_j$	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$
$x_1$	1	0	1	1	0	1	1
$x_2$	1	1	1	1	1	1	1
$x_3$	1	0	1	1	0	1	1
$x_4$	1	0	1	1	0	1	1
$x_5$	1	1	1	1	1	1	1
$x_6$	1	0	1	1	0	1	1
$x_7$	1	0	1	1	0	1	1

Побудовано нечітке відношення критеріїв (табл. 9), яке є перетином вхідних альтернатив або першою згорткою,  $\mu_{Q_1}(x, y)$  з використанням формули (3) [14].

Таблица 9

Перша згортка  $\mu_{Q_1}(x_i, x_j)$

$x_i/x_j$	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$
$x_1$	1	0	0	0	0	0	0
$x_2$	0	1	0	0	0	0	0
$x_3$	0	0	1	0	0	0	0
$x_4$	0	0	0	1	0	0	0
$x_5$	0	0	0	0	1	0	0
$x_6$	0	0	0	0	0	1	0
$x_7$	0	0	0	0	0	0	1

Визначено відношення строгих переваг, побудовано функцію приналежності  $\mu_{Q_1}(x, y)$  та визначено множину невагомих альтернатив, після чого побудовано функцію приналежності  $\mu_{Q_1^{нл}}(x)$  (табл. 10) [14].

Таблица 10

Множина невагомих альтернатив та функція приналежності  $\mu_{Q_1^{нл}}(x)$

$x_i/x_j$	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$
$x_1$	0	0	0	0	0	0	0
$x_2$	0	0	0	0	0	0	0
$x_3$	0	0	0	0	0	0	0
$x_4$	0	0	0	0	0	0	0
$x_5$	0	0	0	0	0	0	0
$x_6$	0	0	0	0	0	0	0
$x_7$	0	0	0	0	0	0	0
$\mu_{Q_1^{нл}}(x)$	1	1	1	1	1	1	1

З табл. 10 видно, що на даному етапі всі критерії вибору заходів захисту є вагомими, тобто необхідно продовжити визначення.

На наступному кроці визначено строгі переваги альтернатив (заходів знеплення відвалу кар'єру) та встановлено множини маловагомих альтернатив за першою згорткою  $\mu_{Q_2}(x, y)$  (табл. 11).

Таблица 11

Друга згортка  $\mu_{Q_2}(x_i, x_j)$

$x_i/x_j$	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$
$x_1$	1	0,6	0,7	0,6	0,75	0,45	0,45
$x_2$	0,55	1	0,9	0,9	0,55	0,55	0,55
$x_3$	0,55	0,7	1	0,9	0,45	0,55	0,55
$x_4$	0,65	0,7	0,8	1	0,55	0,65	0,65
$x_5$	0,25	0,55	0,55	0,45	1	0,5	0,6
$x_6$	0,65	0,45	0,55	0,45	0,8	1	0,9
$x_7$	0,65	0,45	0,55	0,45	0,9	0,5	1

В табл. 12 наведено взаємозв'язок альтернатив, на основі даної матриці побудовано другу згортку багатокритеріальної задачі та виконано вибір найкращої альтернативи.

Тобто, визначено відношення строгих переваг і побудовано функцію приналежності  $\mu_{Q_2}(x, y)$ , після чого визначено множину маловагомих альтернатив і побудовано функцію приналежності  $\mu_{Q_2^{нл}}(x)$ .

На наступному кроці визначено множини недомінуючих альтернатив за двома згортками ( $\mu_{Q_1^{нл}}(x)$  та  $\mu_{Q_2^{нл}}(x)$ ) і побудовано функції приналежності  $\mu_{Q_1^{нл}}(x)$  [14].

Як видно з рис. 3, найкращою серед запропонованих альтернатив є  $x_2$ , тобто найкращим заходом знеплення відвалу кар'єру є використання полімерних розчинів. Проте альтернативи  $x_1, x_3, x_4$  та  $x_6$  мають високий ступінь недомінування, що означає те, що вони можуть бути альтернативними методами.

Таблиця 12

Матриця визначення найкращої альтернативи по обох згортках

$x_i/x_j$	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$
$x_1$	0	0,05	0,15	0	0,5	0	0
$x_2$	0	0	0,2	0,2	0	0,1	0,1
$x_3$	0	0	0	0,1	0	0	0
$x_4$	0,05	0	0	0	0,1	0,2	0,2
$x_5$	0	0	0,1	0	0	0	0
$x_6$	0,2	0	0	0	0,3	0	0,4
$x_7$	0,2	0	0	0	0,3	0	0
$\mu_{Q_1^{нд}}(x)$	1	1	1	1	1	1	1
$\mu_{Q_2^{нд}}(x)$	0,8	0,95	0,8	0,8	0,5	0,8	0,6
$\mu_{Q^{нд}}(x)$	<b>0,8</b>	<b>0,95</b>	<b>0,8</b>	<b>0,8</b>	<b>0,5</b>	<b>0,8</b>	<b>0,6</b>

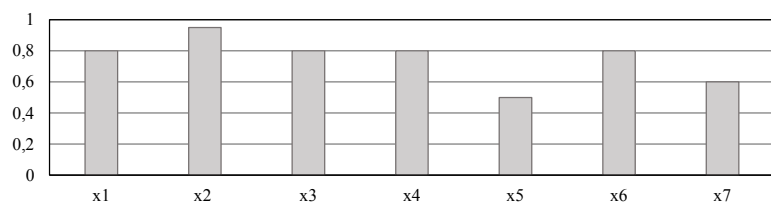


Рис. 3. Значення функції приналежності по всім альтернативам:  $x_1$  – гідрознепилення;  $x_2$  – полімерні покриття;  $x_3$  – обробка бітумною емульсією;  $x_4$  – аерозольні гармати;  $x_5$  – створення загороджень, які запобігають поширенню пилу;  $x_6$  – створення захисного шару з нижчих рослин;  $x_7$  – створення захисного шару з вищих рослин

Слід пам'ятати, що альтернатива  $x_2$  має найкращий результат при виборі даних критеріїв з відповідними коефіцієнтами вагомості, зміна яких призводить до зміни значення функції приналежності, тобто зміни найефективнішого способу. Ця особливість дає можливість легко знайти найдієвіший спосіб при економічних, метеорологічних, екологічних змінах.

## 6. Обговорення результатів досліджень по порівняльній оцінці способів пилоподавлення на відвалах

Проведені дослідження способів мінімізації пилоутворення з відвалів гранітних кар'єрів. Запропоновано статистичний метод «найкращої альтернативи в багатокритеріальних задачах» для вибору способу знепилення. Відрізняючою рисою цього методу від тих, які використовувались раніше, є те, що він дозволяє враховувати визначені критерії та оцінити їх вплив у комбінації на процес пилоутворення. Зниження пилоутворення на відвалах за рахунок використання технічних та технологічних заходів враховується у вигляді функцій приналежності та дозволяє встановити їх ієрархічний порядок з точки зору мінімізації. Критерії оцінки у такій комбінації охоплюють увесь спектр вимог для впровадження обраного способу. Недоліком дослідження є те, що при виборі не враховуються властивості та особливості гірської породи, а також форма та розміри відвалу.

Дослідження є продовженням раніше проведених досліджень по оцінці концентрації пилу при екскавації гірської маси і формуванні відвалів на кар'єрах [18].

## 7. Висновки

1. Проведено порівняння існуючих способів мінімізації пилоутворення з відвалів кар'єрів. Встановлено, що існуючі способи оцінки мінімізації пилоутворення є багатокритеріальні, але не мають вагових коефіцієнтів оцінки їх комбінацій.

2. Після визначення множини невагомих альтернатив та побудови функцій приналежності по всім альтернативам прийшли до підсумку, що з показником 0,95, альтернатива, яка відповідає нанесенню полімерного розчину, має найвищий показник функції приналежності серед інших. Таким чином згідно з результатами проведених досліджень визначено найбільш доцільний спосіб знепилення відвалів гранітних кар'єрів – нанесення полімерного розчину.

## Література

- Шувалов, Ю. В. Снижение пылеобразования и переноса пыли при разрушении горных пород [Текст] / Ю. В. Шувалов, С. А. Ильченкова, Н. А. Гаспарьян, А. П. Бульбашев // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2004. – № 10. – С. 75–78.
- Тверда, О. Я. Дослідження процесу розсіювання пилу з відвалу кар'єру в робочій зоні та на прилеглих територіях [Текст] / О. Я. Тверда, В. Д. Воробійов, Ю. А. Давиденко // Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво». – 2015. – № 29. – С. 96–103.
- Иванов, А. В. Снижение аэрозольного загрязнения атмосферного воздуха от производственных объектов ОАО «Ковдорский ГОК» [Текст]: дис. ... канд. техн. наук / А. В. Иванов. – Санкт-Петербург: Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», 2015. – 206 с.
- Домнічев, М. В. Боротьба з пилінням відвалів гірничозбагачувальних комбінатів [Текст] / М. В. Домнічев, О. В. Нестеренко, В. Н. Назаренко, О. Є. Лапшин // Весник КТУ. – 2011. – Вип. 29. – С. 118–121.
- Салій, І. В. Пригнічення пилоутворення на шлакових відвалах гірничо-металургійних виробництв [Текст] / І. В. Салій // Вісник Криворізького національного університету (КрТУ): Збірник наукових праць. – 2010. – Вип. 25. – С. 136–141.
- Салій, І. В. Розробка засобу пригнічення пилоутворення на шлакових відвалах гірничо-металургійних виробництв [Текст]: дис. ... канд. техн. наук / І. В. Салій. – Держ. служба гірн. нагляду та пром. безпеки України, Держ. установа «Нац. НДІ пром. безпеки та охорони праці». – Київ, 2012. – 168 с.

7. Процессы обеспечения открытых горных работ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://studopedia.su/9\\_75535\\_osushenie-karernih-poley-i-karerov.html](http://studopedia.su/9_75535_osushenie-karernih-poley-i-karerov.html) (дата звернення: 29.02.2016). – Назва з екрану.
8. Lesueur, D. 2 – Polymer modified bitumen emulsions (PMBEs) [Text] / D. Lesueur. – Woodhead. Series «Civil and Structural Engineering», 2011. – P. 25–42.
9. Zhu, J. Polymer modification of bitumen: Advances and challenges [Text] / J. Zhu, B. Birgisson, N. Kringos // European Polymer Journal. – 2014. – Vol. 54. – P. 18–38. doi: 10.1016/j.eurpolymj.2014.02.005
10. Ковшов, В. П. Геоэкологический анализ процесса рекультивации нарушенных земель и пылеподавления на карьерах (на примере ОАО «Мордовцемент» в Мордовии) [Электронный ресурс] / В. П. Ковшов, О. С. Ковшова, Н. В. Николаева – Режим доступа: <http://www.sworld.com.ua/index.php/biology/ecology-and-biotechnology/1261-kovshov-vp-kovshova-os-nikolaeva-nv?lang=uk> (дата обращения: 29.02.2016). – Загол. с экрана.
11. Месяц, С. П. Обоснование способов сохранения техногенного минерального сырья, складированного в отвалы отходов рудобогачения [Текст] / С.П. Месяц, Е.Ю. Волкова // Вестник МГТУ. – 2009. – Т. 12, № 4. – С. 735–741.
12. Сластунов, С. В. Горное дело и окружающая среда [Текст]: учебник / С. В. Сластунов, В. Н. Королева, К. С. Коликов и др. – М.: Логос, 2001. – 272 с.
13. Savelieva, E. Study of waste dumps impact on the adjacent areas [Text] / E. Savelieva // TeKa. Commission of motorization and energetics in agriculture – 2014. – Vol. 14, Issue 2. – P. 138–145.
14. Сербінова, Л. А. Метод обґрунтування заходів для зниження запилення робочих зон при відкритих гірничих роботах [Текст] / Л. А. Сербінова // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2013. – Т. 4, № 10 (64). – С. 15–18. – Режим доступа: <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/16306/13829>
15. Зайченко, Ю. П. Исследование операций [Текст]: учеб. пос. / Ю. П. Зайченко. – К.: Выща шк., 1975. – 320 с.
16. Зайченко, О. Ю. Конспект лекцій [Электронный ресурс] / О. Ю. Зайченко. – Режим доступа: <http://campus.kpi.ua/tutor/index.php?mode=mob&show&file=ytsyxcldhxvhbcrgbd> (дата звернення: 12.02.2016). – Назва з екрану.
17. Triantaphyllou, E. Multi-criteria Decision Making Methods: A Comparative Study (Applied Optimization) [Text] / E. Triantaphyllou. – Springer, 2000. – 290 p. doi: 10.1007/978-1-4757-3157-6
18. Твердая, О. Я. Оценка концентрации пыли при экскавации горной массы и формировании отвалов на карьерах [Текст] / О. Я. Твердая, В. Д. Воробьев, Ю. А. Давыденко // ISJ Theoretical & Applied Science. – 2015. – № 11(31). – С. 1–7. doi: 10.15863/tas.2015.11.31.1
19. A Guide to Spray Technology for Dust Control [Text]. – Spraying Systems Co. – 2008. – Bulletin 652. – P. 20.