

© А.В. Павличенко¹, І.К. Младецький¹, О.С. Дрешпак¹

¹Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

МЕТОДИ ПРОГНОЗУ РЕЧОВИННОГО СКЛАДУ ТА МІНЕРАЛЬНИХ ФАЗ ВУГІЛЬНИХ ТЕРИКОНІВ ЗАХІДНОГО ДОНБАСУ

© A. Pavlychenko¹, I. Mladetskyi¹, O. Dreshpak¹

¹Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

METHODS FOR PREDICTING THE MATERIAL COMPOSITION AND MINERAL PHASES OF COAL TERRICONES OF THE WESTERN DONBAS

Мета. Обґрунтування методики випробування вугільного техногенного родовища.

Методика. Методика визначення розділових властивостей лежалою відвалу базується на випробуванні та визначенні показників якості, або іншого перетворюваного процесу. Передбачається вирішення суперечності: щоб знати вміст фракцій необхідно випробувати, а щоб визначитися з масою проби необхідно знати вміст фракцій. Ця суперечність надалі усувається практикою випробування, але спочатку вона вирішується на підставі попереднього досвіду або апіорних відомостей. Правильність початкового випробування оцінюється шляхом подальшого визначення кореляцій між пробами та групами проб.

Головне правило випробування – незалежність спостережень між будь-якою парою спостережень, тобто ймовірність їхньої спільної появи має бути нульовою. Якщо коефіцієнт детермінації $r_{xy}^2 \leq 0,3$, то величини незалежні один від одного. Тому місця відбору проб повинні бути розташовані на значній відстані один від одного. Таким чином, випробування має два етапи. Перший – розвідувальний із відбором проб в одному напрямку, для визначення кореляційної функції обраного показника. Інший етап – головний для визначення статистично незалежних по відстані між собою проб.

Результати. Визначенні промислово прийнятні фракції у териконі шахти Павлоградська, з яких можна вилучати цінні мінерали, що можуть бути використані у промисловому, громадському та шляховому виробництві на суму понад 2 млрд грн.

Наукова новизна. На підставі методики випробування випадкових техногенних родовищ побудована автокореляційна функція статистично незалежних відстаней між головними пробами для отримання потрібних показників якості сировини для подальшого використанні та переробки сировини.

Практична значимість. Розроблена схема випробування відходів дозволяє отримати показники можливості використання техногенного родовища та економічні показники доцільності такого використання.

Ключові слова: техногенні родовища, випробування, кореляційні функція, шахтні відвали, корисні фракції, класи крупності.

Шахти Західного Донбасу відпрацьовують вугільні пласти, які залягають щодо близько до поверхні. При відпрацюванні цих пластів поверхня досить сильно змінює рельєф і потребує витрат на рекультивацію ґрунтів [1–5].

Відвали шахт займають великі простори і за час свого становлення (≈60 років) утворили цілі техногенні родовища, які в даний час складаються практично

повністю з корисних мінералів, які можуть бути використані в якості будівельних і дорожніх матеріалів, палива, глини та ін.

Формування відвалів проводилося шляхом рівномірного заповнення відведеного простору, з умовою зручного проходження автотранспорту, який вивозить відвальну породу. Результат оцінювався візуально та обліку не проводилося. Такі відвали прийшли на зміну териконам. Тому, щоб оцінити доцільність використання відвалів у господарстві країни необхідно попередньо випробувати цей масив і оцінити вміст різних фракцій копалин.

Шахти Західного Донбасу відпрацьовують вугільні пласти, які залягають щодо близько до поверхні. При відпрацюванні цих пластів поверхня досить сильно змінює рельєф і потребує витрат на рекультивацію ґрунтів.

Відвали шахт займають великі простори і за час свого становлення (≈ 60 років) утворили цілі техногенні родовища, які в даний час складаються практично повністю з корисних мінералів, які можуть бути використані в якості будівельних і дорожніх матеріалів, палива, глини та ін.

Формування відвалів проводилося шляхом рівномірного заповнення відведеного простору, з умовою зручного проходження автотранспорту, який вивозить відвальну породу. Результат оцінювався візуально та обліку не проводилося. Такі відвали прийшли на зміну териконам. Тому, щоб оцінити доцільність використання відвалів у господарстві країни необхідно попередньо випробувати цей масив і оцінити зміст різних фракцій копалин.

Випробування має деяку суперечність: щоб знати вміст фракцій необхідно випробувати, а щоб визначитися з масою проби необхідно знати вміст фракцій. Ця суперечність надалі усувається практикою випробування, але спочатку вона дозволяється на підставі попереднього досвіду або апіорних відомостей. Правильність початкового випробування оцінюється шляхом подальшого визначення кореляцій між пробами та групами проб.

Основна частина. Головне правило випробування – незалежність спостережень між будь-якою парою спостережень, тобто. ймовірність їхньої спільної появи має бути нульовою. Практично якщо коефіцієнт детермінації $r_{XY}^2 \leq 0,3$, то вважається, що величини незалежні один від одного. Тому місця відбору проб повинні відстояти на значній відстані один від одного.

Цю відстань визначають шляхом попередньої розвідувальної роботи. Для цього відбирають малі проби на відстані 1–2 м один від одного по прямій для визначення одного з показників якості, наприклад, зольності. Кількість проб має бути достатньою для отримання автокореляційної функції $K_{XX}(\Delta L)$. Коли $K_{XX}(\Delta L)$ дорівнюватиме нулю, то значення ΔL дасть відстань $K_{XX}(\Delta L)$. Коли $K_{XX}(\Delta L)$ дорівнюватиме нулю, то значення ΔL дасть відстань між незалежними спостереженнями. Це буде мінімальна відстань між генеральними пробами. Максимальна відстань має бути близька до значення, коли кореляційна функція істотно змінить свій знак. Таку роботу нами було проведено та визначено мінімальну відстань між генеральними пробами рівну 30 м. Нами було прийнято відстань між генеральними пробами близько 100 м.

Отже, відвал шахти «Павлоградська» (рис.) ($5 \cdot 10^6 \text{ м}^3$) був випробуваний 25-ма пробами по периметру і в середині. Проби, як і належить, було взято з надлишком і скорочено до $\approx 15 \text{ кг}$. Результати аналізу проб наведено у табл. 1–6, під час аналізу статистичних зв'язків.

Відвал шахти «Павлоградська» накопичив значну кількість породи, тепер уже може бути техногенним родовищем. Запаси становлять 5 млн м^3 . Щільність у насипній масі становить $2,2 \text{ т/м}^3$. Таким чином, масові запаси становлять 11 млн т.

Для визначення можливого вилучення цінних компонентів було проведено випробування за контуром родовища. Усього 25 проб (рис.).



Рис. Точки відбору проб з терикону ш. Павлоградська

Щоб визначити закономірності розподілу фракцій і класів крупності визначалися кореляційні зв'язки між такими групами проб, що складають множини m_1 – m_6 :

$$\begin{aligned} 8,9,10 - m_1 \quad \text{і} \quad 4, 25,5 - m_2; \\ 7,6,25,24,23 - m_3 \quad \text{і} \quad 15,16,17,18,19 - m_4; \\ 11,12,13,14 - m_5 \quad \text{і} \quad 3,2,1,22 - m_6. \end{aligned}$$

Таблиця 1

Розрахунок кореляційних зв'язків між множинами m_1 та m_2

Густина	Вихід γ , %	Зольність, A	Вихід, γ	Зольність, A	Вихід, γ	Зольність, A
Фракція +1600кг/м ³	0,953	0,886	0,908	0,906	0,9612	0,927
Фракція -1600кг/м ³	0,0469	0,109	0,0917	0,093	0,0043	0,131

Визначення середніх значень кожного з параметрів між множинами m_1 та m_2 .

$$\begin{aligned} \bar{\gamma}_{+1600} &= \frac{2,826}{3} = 0,94; \\ \bar{\gamma}_{-1600} &= \frac{0,1429}{3} = 0,0476; \\ \bar{A}_{-1600} &= \frac{0,333}{3} = 0,111; \\ \bar{A}_{+1600} &= \frac{2,719}{3} = 0,906. \end{aligned}$$

Таблиця 2

Вихідні дані множини m_2

Фракція +1600кг/м ³	Вихід, γ	Зольність, A	Вихід, γ	Зольність, A	Вихід, γ	Зольність, A
Фракція +1600кг/м ³	0,8503	0,858	0,93	0,924	0,937	0,9
Фракція -1600кг/м ³	0,1497	0,138	0,07	0,089	0,0624	0,096

Визначення середніх значень кожного з параметрів множини m_2 .

$$\begin{aligned} \bar{\gamma}_{+1600} &= \frac{2,774}{3} = 0,924; \\ \bar{\gamma}_{-1600} &= \frac{0,2817}{3} = 0,094; \\ \bar{A}_{+1600} &= \frac{2,68}{3} = 0,894; \end{aligned}$$

$$\bar{A}_{-1600} = \frac{0,323}{3} = 0,108.$$

Коефіцієнт кореляції визначається таким чином:

$$K_{1,2} = \frac{\sum_{i=1}^N (X_i \cdot Y_i)}{N \cdot \sigma_X \cdot \sigma_Y}; \quad \sigma_X^2 = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2.$$

Оскільки випробувань мало, то будемо користуватися середніми помилками.

$$\sigma_X = \frac{X_{\max} - X_{\min}}{4}.$$

Таблиця 3

Коваріації значень m_1 та m_2

γ_1	γ_2	$\gamma - \bar{\gamma}_1$	$(\gamma - \bar{\gamma}_1)^2$	$\gamma - \bar{\gamma}_2$	$(\gamma - \bar{\gamma}_2)^2$	$\gamma_1 \gamma_2$
0,953	0,85	-0,041	$1,6 \cdot 10^{-3}$	-0,074	$5,47 \cdot 10^{-3}$	0,003
0,908	0,93	-0,032	10^{-3}	0,006	$0,036 \cdot 10^{-3}$	-0,0002
0,9612	0,937	0,021	$4,4 \cdot 10^{-4}$	0,07	$4,85 \cdot 10^{-3}$	0,0015
			$3,01 \cdot 10^3$		$10,32 \cdot 10^{-3}$	0,0043

Середня похибка становить.

$$\sigma_1 = 0,3; \quad \sigma_2 = 0,18; \quad K_{1,2} = \frac{0,14}{0,3 \cdot 0,18} = 0,6.$$

Таблиця 4

Розрахунок кореляції між множинами m_3 та m_4

Фракція	Вихід, γ	Зольність, A	Вихід, γ	Зольність, A	Вихід, γ	Зольність, A	Вихід, γ	Зольність, A	Вихід, γ	Зольність, A
Фракція +1600кг/м ³	0,935	0,92	0,9516	0,874	0,9145	0,89	0,941	0,924	0,937	0,9
Фракція -1600кг/м ³	0,0652	0,0069	0,0484	0,088	0,00855	0,111	0,0588	0,07	0,0624	0,096

Визначення середніх значень кожного з параметрів між множинами m_3 та m_4 .

$$\bar{\gamma}_{+1600} = \frac{4,6802}{5} = 0,9364;$$

$$\bar{\gamma}_{-1600} = \frac{0,3203}{5} = 0,064;$$

$$\bar{A}_{-1600} = \frac{4,51}{5} = 0,9;$$

$$\bar{A}_{+1600} = \frac{0,434}{5} = 0,087.$$

Таблиця 5

Вихідні значення множини m_4

Фракція	Вихід, γ	Зольність, A_+	Вихід, γ	Зольність, A	Вихід, γ	Зольність, A	Вихід, γ	Зольність, A	Вихід, γ	Зольність, A
Фракція +1600кг/м ³	0,9806	0,89	0,956	0,907	0,841	0,947	0,883	0,924	0,934	0,905
Фракція -1600кг/м ³	0,0196	0,27	0,0445	0,131	0,00842	0,102	0,053	0,104	0,066	0,113

Визначення середніх значень кожного з параметрів множини m_4 .

$$\bar{\gamma}_{+1600} = \frac{4,733}{5} = 0,9466;$$

$$\bar{\gamma}_{-1600} = \frac{0,201}{5} = 0,04;$$

$$\bar{A}_{-1600} = \frac{4,415}{5} = 0,883;$$

$$\bar{A}_{+1600} = \frac{0,8394}{5} = 0,0336.$$

Таблиця 6

Коваріації m_3 та m_4

γ_3	γ_4	$\gamma - \bar{\gamma}_3$	$(\gamma - \bar{\gamma}_3)^2$	$\gamma - \bar{\gamma}_4$	$(\gamma - \bar{\gamma}_4)^2$	$\gamma_3 \gamma_4$
0,935	0,952	0,0036	$1,3 \cdot 10^{-5}$	-0,0027	$73 \cdot 10^{-5}$	$-9,73 \cdot 10^{-5}$
0,9516	0,956	0,024	$5,7 \cdot 10^{-5}$	0,0094	$9 \cdot 10^{-5}$	$22 \cdot 10^{-5}$
0,9145	0,916	-0,017	$29 \cdot 10^{-5}$	-0,03	$90 \cdot 10^{-5}$	$51 \cdot 10^{-5}$
0,911	0,947	-0,02	$40 \cdot 10^{-5}$	0,0004	$0,106 \cdot 10^{-5}$	$-40 \cdot 10^{-5}$
0,937	0,934	0,0056	$3 \cdot 10^{-5}$	-0,012	$14 \cdot 10^{-5}$	$-6,7 \cdot 10^{-5}$
			$130 \cdot 10^{-5}$		$186 \cdot 10^{-5}$	$3,32 \cdot 10^{-5}$

$$\sigma_3 = 0,016 ; \quad \sigma_4 = 0,019 ; \quad K_{3,4} = \frac{3,32 \cdot 10^{-5}}{0,16 \cdot 0,019} = 0,1.$$

Таблиця 7

Розрахунок кореляції між множинами m_5 та m_6

Фракція	Вихід, γ	Зольність, A_+	Вихід, γ	Зольність, A	Вихід, γ	Зольність, A	Вихід, γ	Зольність, A
Фракція +1600кг/м ³	0,9581	0,911	0,96776	0,895	0,9412	0,881	0,884	0,935
Фракція -1600кг/м ³	0,0419	0,115	0,0323	0,103	0,0588	0,085	0,116	0,124

$$\bar{\gamma}_{+1600} = \frac{3,751}{4} = 0,9377;$$

$$\bar{\gamma}_{-1600} = \frac{0,2446}{4} = 0,0611;$$

$$\bar{A}_{-1600} = \frac{3,542}{4} = 0,835;$$

$$\bar{A}_{+1600} = \frac{0,427}{4} = 0,107.$$

Таблиця 8

Вхідні значення множини m_6

Фракція	Вихід, γ	Зольність, A_+	Вихід, γ	Зольність, A	Вихід, γ	Зольність, A	Вихід, γ	Зольність, A
Фракція +1600кг/м ³	0,996	0,927	0,99	0,888	0,938	0,885	0,962	0,915
Фракція -1600кг/м ³	0,43	0,131	0,0097	0,112	0,062	0,086	0,0378	0,07

$$\bar{\gamma}_{+1600} = \frac{3,8818}{4} = 0,97;$$

$$\bar{\gamma}_{-1600} = \frac{0,54}{4} = 0,134;$$

$$\bar{A}_{-1600} = \frac{3,615}{4} = 0,9;$$

$$\bar{A}_{+1600} = \frac{0,399}{4} = 0,1.$$

Таблиця 9

Коваріації значень m_5 та m_6

γ_5	γ_6	$\gamma - \bar{\gamma}_5$	$(\gamma - \bar{\gamma}_5)^2$	$\gamma - \bar{\gamma}_6$	$(\gamma - \bar{\gamma}_6)^2$	$\gamma_5 \gamma_6$
0,996	0,958	0,026	$67,6 \cdot 10^{-5}$	0,02	$40 \cdot 10^{-5}$	$52 \cdot 10^{-5}$
$60 \cdot 10^{-5}$	0,9677	0,02	$40 \cdot 10^{-5}$	0,03	$90 \cdot 10^{-5}$	$60 \cdot 10^{-5}$
$16 \cdot 10^{-5}$	0,9432	-0,032	$102 \cdot 10^{-5}$	-0,005	$25 \cdot 10^{-5}$	$16 \cdot 10^{-5}$
0,962	0,884	-0,008	$6,4 \cdot 10^{-5}$	0,054	$291 \cdot 10^{-5}$	$43 \cdot 10^{-5}$
			$216 \cdot 10^{-5}$		$446 \cdot 10^{-5}$	$139 \cdot 10^{-5}$

$$\sigma_5 = 0,0232 \quad \sigma_4 = 0,0333 \quad K_{5,6} = \frac{34,7 \cdot 10^{-5}}{0,033 \cdot 0,023} = 0,453.$$

Малі значення коефіцієнтів кореляції свідчать, що спостереження практично незалежні друг від друга і родовище має рівномірний розподіл показників за своїм обсягом як у зольності і змісту фракцій і класів крупності. Таким чином робимо висновок, що середні показники зольностей та зміст класів крупності є достовірними для родовища.

На користь цього твердження говорить той факт, що дисперсії (середні квадратичні відхилення) для всіх проб і класів крупності досить малі (див. табл. 1–9).

Результати показників по фракціям, що містять вугілля, представлені у табл. 10–15.

Таблиця 10

Результати показників по фракціям m_1 та m_2

Кл. крупн.	фрак	Вих.	зола	$\gamma_{\text{мак}}$	$\gamma_{\text{мин}}$	σ_γ	$\frac{\bar{\gamma}}{\sigma_\gamma}$	$A_{\text{мак}}$	$A_{\text{мин}}$	σ_A	$\frac{\bar{A}}{\sigma_A}$
-50+6 мм	+1600	0,94	0,89	0,9957	0,9145	0,02	47	0,935	0,85	0,021	42
$\gamma = 0,4221$	-1600	0,057	0,106	0,43	0,146	0,036	1,39	0,131	0,04	0,032	3,31

Таблиця 11

Результати показників по фракціям m_3 та m_4

Кл. крупн.	фрак	Вих.	зола	$\gamma_{\text{мак}}$	$\gamma_{\text{мин}}$	σ_γ	$\frac{\bar{\gamma}}{\sigma_\gamma}$	$A_{\text{мак}}$	$A_{\text{мин}}$	σ_A	$\frac{\bar{A}}{\sigma_A}$
-6+1 мм	+1600	0,904	0,891	0,963	0,801	0,04	22,6	0,939	0,862	0,0191	46,8
$\gamma = 0,141$	-1600	0,096	0,0735	0,191	0,037	0,0385	2,5	0,104	0,043	0,015	4,8

Таблиця 12

Результати показників по фракціям m_5 та m_6 .

Кл. крупн.	фрак	Вих.	зола	$\gamma_{\text{мак}}$	$\gamma_{\text{мин}}$	σ_γ	$\frac{\bar{\gamma}}{\sigma_\gamma}$	$A_{\text{мак}}$	$A_{\text{мин}}$	σ_A	$\frac{\bar{A}}{\sigma_A}$
-1+0,1 мм	+1600	0,874	0,861	0,942	0,817	0,031	29	0,903	0,821	0,02	43
$\gamma = 0,079$	-1600	0,126	0,107	0,182	0,058	0,031	4,2	0,165	0,076	0,0235	4,65

Таблиця 13

Фракція +50 мм

Кл. крупн.	Фрак	Вих.	зола
+50 мм	-		
$\gamma = 0,0808$	-	1,0	1,0

Таблиця 14

Фракція -0,1 мм

Кл. крупн.	фрак	Вих.	зола
- 0,1 мм			
$\gamma = 0,277$		0,896	1,0

Таблиця 15

Загальні запаси класів крупності в териконі

Класи крупн., мм	Вихід, д.о.	Фракція	Вихід, д.о.	Зольність, д.о	Доля від заг. виходу, д.о.	Маса, т·10 ⁶
+50	0,0808		1,0	1,0	0,0808	0,888
-50+ 6	0,4221	+1600	0,9417	0,8985	0,3975	4,3725
		-1600	0,0569	0,1061	0,024	0,264
-6+1	0,1413	+1600	0,9037	0,8911	0,1293	1,4223
		-1600	0,0963	0,0735	0,0136	0,1496
-1+0,1	0,0789	+1600	0,8737	0,8614	0,0689	0,7579
		-1600	0,1263	0,1066	0,00996	0,11
-0,1	0,2769		1,0	0,8958	0,2769	3,04
					1,0	11

Таким чином, з табл. 15 видно, що цей терикон містить 523 тис. т. вуглевмісних мінеральних фаз, а саме вугілля крупності +50 мм – 888000 т., -50+6 мм – 264000 т., -6+1 мм – 110000 т. **Загальна вартість вугілля, що міститься у териконі ш. Павлоградська становить 2,09 млрд грн.**

Висновки.

Формування вугільних відвалів (териконів) ведеться випадковим чи псевдовипадковим чином, тому попереднє розвідувальне випробування з подальшою побудовою автокореляційної функції обов'язкове для таких об'єктів перед визначенням прогнозування їх речовинного складу.

Спостереження генерального випробування мають бути статистично незалежними.

Відстань між точками відбору генеральних проб мусять мати двосторонні обмеження типу $\Delta L_{\min} \leq \Delta L_o \leq \Delta L_{\max}$.

Перелік посилань

- Petlovanyi, M., Kuzmenko, O., Lozynskyi, V., Popovych, V., Sai, K., & Saik, P. (2019). Review of man-made mineral formations accumulation and prospects of their developing in mining industrial regions in Ukraine. *Mining of Mineral Deposits*, 13(1), 24–38. <https://doi.org/10.33271/mining13.01.024>
- Петльованій, М.В., & Гайдай, О.А. (2017). Аналіз накопичення і систематизація породних відвалів вугільних шахт, перспективи їх розробки. *Геотехнічна механіка*, (136), 147–158.
- Petlovanyi, M.V., & Medianyuk, V.Y. (2018). Assessment of coal mine waste dumps development priority. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, (4), 28–35. <https://doi.org/10.29202/nvngu/2018-4/3>

4. Petlovanyi, M., Sai, K., Malashkevych, D., Popovych, V., & Khorolskyi, A. (2023). Influence of waste rock dump placement on the geomechanical state of underground mine workings. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1156(1), 012007. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1156/1/012007>
5. Malashkevych, D., Petlovanyi, M., Sai, K., & Zubko, S. (2022). Research into the coal quality with a new selective mining technology of the waste rock accumulation in the mined-out area. *Mining of Mineral Deposits*, 16(4), 103–114. <https://doi.org/10.33271/mining16.04.103>

ABSTRACT

Purpose. Justification of the methodology for testing a coal technogenic deposit.

Methodology. The method of determining the separation properties of a waste heap is based on testing and determining quality indicators, or other transformative process. It is assumed to resolve the contradiction: to know the content of fractions, it is necessary to test, and to determine the mass of the sample, it is necessary to know the content of fractions. This contradiction is subsequently eliminated by testing practice, but initially it is resolved based on previous experience or a priori information. The correctness of the initial test is assessed by further determining the correlations between samples and groups of samples.

The main rule of the test is the independence of observations between any pair of observations, that is, the probability of their co-occurrence must be zero. If the coefficient of determination is $r_{XY}^2 \leq 0,3$ then the values are independent of each other. Therefore, the sampling points must be located at a considerable distance from each other. Thus, the test has two stages. The first is an exploratory one with sampling in one direction, to determine the correlation function of the selected indicator. The other stage is the main one for determining statistically independent samples in terms of distance.

Results. Industrially acceptable fractions in the tailings heap of the Pavlohradsk mine have been determined, from which valuable minerals can be extracted that can be used in industrial, public and road production for over 2 billion UAH.

Originality. Based on the methodology for testing random technogenic deposits, an autocorrelation function of statistically independent distances between the main samples was constructed to obtain the necessary indicators of raw material quality for further use and processing of raw materials.

Practical significance. The developed waste testing scheme allows obtaining indicators of the possibility of using a technogenic deposit and economic indicators of the feasibility of such use.

Keywords: *technogenic deposits, testing, correlation function, mine dumps, useful fractions, size classes.*