

О.Я. Тверда, к.т.н., Ю.А. Давиденко, студ. (НТУУ «КПІ»)

ОБГРУНТУВАННЯ РАДІУСУ ЗОНИ ЗАПИЛЕННЯ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД МАСИ ПИЛУ ЩО ЗДУВАЄТЬСЯ З ВІДВАЛУ

О. Ya. Tverda, Yu. A. Davydenko (National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute»)

JUSTIFICATION THE RADIUS OF POLLINATION ZONE DEPENDING ON DUST WEIGHT THAT IS BLOWN AWAY FROM THE DUMP

Встановлено емпіричну залежність радіусу зони запилення від маси пилу, яка здувається з відвалу кар'єра, за допомогою кубічного сплайну. При плануванні експерименту проведено однофакторний аналіз. Враховуючи, що будь-яке значення параметра обчислюється за результатами обмеженого числа експериментів і містить елемент випадковості, для отримання надійних і достовірних висновків проведено перевірку точності експериментів за критерієм Кохрена. Розрахунки проведено при рівній кількості експериментів для кожного значення радіуса зони запилення. Здійснено перевірку адекватності представлення результатів експерименту за допомогою коефіцієнта Фішера. На основі даної залежності можливе прогнозування зони запилення навколо відвалу, що дасть змогу оцінити вплив на навколишнє середовище.

Ключові слова: відвал; експеримент; маса пилу; однофакторний аналіз; пил; радіус зони запилення; сплайн.

Установлена эмпирическая зависимость радиуса зоны запыленности от массы пыли, которая сдувается с отвала карьера, с помощью кубического сплайна. При планировании эксперимента проведен однофакторный анализ. Учитывая, что любое значение параметра вычисляется по результатам ограниченного числа экспериментов и содержит элемент случайности, для получения надежных и достоверных выводов проведена проверка точности экспериментов по критерию Кохрена. Расчеты проведены при равном количестве экспериментов для каждого значения радиуса зоны запыленности. Проведена проверка адекватности представления результатов эксперимента с помощью коэффициента Фишера. На основе данной зависимости возможно прогнозирование зоны запыленности вокруг отвала, что позволит оценить влияние на окружающую среду.

Ключевые слова: отвал; эксперимент; масса пыли; однофакторный анализ; пыль; радиус зоны опыления; сплайн.

Empirical dependence between pollination radius and dust mass that is blown away from the quarry dump, using a cubic spline, is set. Single-factor analysis is conducted during planning experiment. Given that any parameter value is calculated based on the results of a limited number of experiments and contains an element of randomness, for reliable and trustworthy conclusions the accuracy of experiments by Cochran criterion was verified. Calculations with equal number of experiments for each radius of pollination zone were conducted. Check for adequate of representation the results of experiments the regression equations by comparing results with the

Fisher coefficient was made. Based on this dependency forecasting pollination zone around the dump is possible. This will help assess the impact of quarry dump on the environment.

Keywords: *dump; experiment; the mass of dust; single-factor analysis; dust; pollination radius; spline.*

Актуальність роботи. Однією із актуальних проблем функціонування кар'єру є запиленість атмосферного повітря не лише території кар'єра, а і прилеглих до нього територій. У районах розташування гірничих підприємств і, особливо в районах розміщення техногенних масивів (відвалів), в результаті масових викидів пилу в навколишнє природне середовище складається несприятлива екологічна ситуація, що має тенденцію до подальшого погіршення внаслідок нарощування виробничих потужностей, не підкріплених ефективними заходами боротьби з пилом [1]. При розробці родовищ функціонує значна кількість різних джерел пиловиділення (буропідривні роботи, екскавація, транспортування гірської маси і т.д.). Запиленість під час проведення відкритих гірничих робіт може варіюватися в межах від 0,5 до 10000 мг/м³. Пилове навантаження призводить до підвищення захворюваності, смертності, значного зниження працездатності. У виробничих умовах пил проникає в організм людини через дихальні шляхи і накопичується в легенях. При цьому можуть розвинути ураження легеневої тканини та дихальних шляхів, які по клініко-морфологічних аналізах мають схожість з пневмосклерозом і хронічним бронхітом [2, 3]. Таким чином, визначення радіусу зони запилення допоможе розрахувати навантаження на навколишнє середовище та ймовірність виникнення захворювань, пов'язаних з дією пилу на працівників та населення прилеглих територій.

Мета роботи – знаходження залежності радіусу зони запилення від маси пилу, який здувається з відвалу кар'єра, за допомогою інтерполяції сплайнами.

Результати досліджень. При проведенні досліджень одним із головних методів вивчення є експеримент. Для знаходження залежності радіусу зони запилення від маси пилу, яка здувається з відвалу кар'єра, проведено експеримент. При плануванні експерименту застосовано однофакторний аналіз. Враховуючи, що будь-яке значення параметра обчислюється за результатами обмеженого числа експериментів і містить елемент випадковості, то для отримання надійних і достовірних висновків здійснювалась перевірка точності експериментів за критерієм Кохрена. Розрахунки проводились при рівній кількості експериментів для кожного значення радіусу зони запилення (табл. 1). Кількість експериментів, які становлять 4, визначено при 95% ймовірності та величині граничної помилки в оцінці досліджуваного параметра, рівній одиниці. Також проведено перевірку адекватності представлення результату експерименту знайденим рівнянням регресії за співставленням знайдених результатів із величиною коефіцієнта Фішера [4 – 7].

Результати експериментів із визначення маси пилу з відвалу кар'єра в залежності від радіусу зони запилення

Радіус зони запилення, м	Маса пилу, кг/(га·рік)				
	Експеримент				\bar{y}_n
	1	2	3	4	
3000	2,15	2,2	2,05	2,04	2,11
2000	2,78	2,57	3,02	2,91	2,82
1000	5,11	4,96	5,05	5,08	5,05
500	6,73	6,87	6,47	7,29	6,84
200	10,04	9,94	9,85	10,17	10,00
100	18,34	18,48	18,51	18,27	18,40

Аналіз отриманих результатів показав, що результати експериментів, які характеризують зміну радіусу зони запилення при зміні маси пилу, є адекватними ($F_{роз} = 0,000623 < F_{табл} = 3,1$). Перевірка рівноточності отриманих в ході експерименту результатів за критерієм Кохрена показала, що при 95%-му рівні надійності $Y_{роз} = 0,593 < Y_{табл} = 0,684$. Це дає змогу стверджувати, що усі результати проведених експериментів рівноточні. Таким чином, отримані результати можна використовувати для знаходження залежності радіусу зони запилення від маси пилу.

При розв'язанні задачі приближення функції частіше всього використовують інтерполяційні поліноми, але при збільшенні числа вузлів інтерполювання, таке наближення не гарантує задовільного наближення функції з високою точністю. У такому випадку використовується інтерполяція кусковими поліномами на кожному з частин відрізка $[a, b]$. Вимога гладкого спряження полінома на сусідніх відрізках приводить до побудови кусково-поліноміальних функцій з однорідною структурою, які називаються сплайнами. Постановка задачі полягає в побудові інтерполяційного або згладжуючого сплайну для функції $f(x)$, $x \in [a, b]$, значення якої відомі у вузлах $x_i \in [a, b]$, $i = 1, n$. При цьому необхідно знайти значення сплайну або його похідних в заданих точках [8 – 10].

Задача кусково-кубічного інтерполювання формулюється наступним чином: на відрізку $[a, b]$ необхідно знайти функцію $S(x)$, що задовольняє умовам [9]:

1. $S(x) \in C_2 [a, b]$, де $C_2 [a, b]$ – клас функцій, які неперервні разом зі своїми похідними на відрізку $[a, b]$.
2. $S(x) \in P_3 [a, b]$, $\forall x \in [x_i, x_{i-1}]$, $\forall i = 1, n - 1$.
3. $S(x_i) = y_i$, $\forall i = 1, n - 1, n > 2$.

Знаходження функції заданої залежністю радіусу зони запилення від маси пилу відбулося за допомогою інтерполяції сплайнами.

Відповідно до [8 – 10] проведено розрахунок для знаходження залежності за допомогою інтерполяції сплайнами.

1. Визначено h :

$$h_1 = 300, h_2 = 500, h_3 = 1000, h_4 = 1000.$$

2. Знайдено матрицю H :

$$H = \begin{bmatrix} 1600 & 500 & 0 \\ 500 & 3000 & 1000 \\ 0 & 1000 & 4000 \end{bmatrix}.$$

3. Знайдено матрицю γ , де:

$$\gamma_i = 6 \left[\frac{y_{i+1} - y_i}{h_i} - \frac{y_i - y_{i-1}}{h_{i-1}} \right], \forall i = \overline{2, n-1}; \quad (1)$$

$$\gamma_1 = \gamma_5 = 0;$$

$$\gamma_2 = 6 \left[\frac{y_3 - y_2}{h_2} - \frac{y_2 - y_1}{h_1} \right] = 6 \left[\frac{5,05 - 6,84}{500} - \frac{6,84 - 10,0}{300} \right] = 0,042;$$

$$\gamma_3 = 6 \left[\frac{y_4 - y_3}{h_3} - \frac{y_3 - y_2}{h_2} \right] = 6 \left[\frac{2,82 - 5,05}{1000} - \frac{5,05 - 6,84}{500} \right] = 9,04 \cdot 10^{-3};$$

$$\gamma_4 = 6 \left[\frac{y_5 - y_4}{h_4} - \frac{y_4 - y_3}{h_3} \right] = 6 \left[\frac{2,11 - 2,82}{1000} - \frac{2,82 - 5,05}{1000} \right] = 9,12 \cdot 10^{-3}.$$

4. Значення y_2'' , y_3'' , y_4'' визначено з наступної системи рівнянь:

$$y_1'' = y_5'' = 0.$$

$$\begin{cases} 1600y_2'' + 500y_3'' = 0,042; \\ 500y_2'' + 3000y_3'' + 1000y_4'' = 9,04 \cdot 10^{-3}; \\ 1000y_3'' + 4000y_4'' = 9,12 \cdot 10^{-3}. \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} y_2'' = 0,00002683; \\ y_3'' = -0,00000242; \\ y_4'' = 0,000002885. \end{cases}$$

5. Знайдено значення y_1' , y_2' , y_3' , y_4' за наступною формулою:

$$y_i' = \frac{y_{i+1} - y_i}{h_i} - y_{i+1}'' \frac{h_i}{6} - y_i'' \frac{h_i}{3}. \quad (2)$$

$$y_1' = \frac{6,84 - 10,0}{300} - 0,00002683 \frac{300}{6} - 0 = -0,0119;$$

$$y_2' = \frac{5,05 - 6,84}{500} + 0,00000242 \frac{500}{6} - 0,00002683 \frac{500}{3} = -7,8502 \cdot 10^{-3};$$

$$y_3' = \frac{2,82 - 5,05}{1000} - 0,000002885 \frac{1000}{6} + 0,00000242 \frac{1000}{3} = -1,9041 \cdot 10^{-3};$$

$$y_4' = \frac{2,11 - 2,82}{1000} - 0 - 0,000002885 \frac{1000}{3} = -1,6717 \cdot 10^{-3}.$$

6. Тоді, для визначення $S(x)$ знайдено S_1, S_2, S_3, S_4 :

$$S_i(x) = y_i + y_i'(x - x_i) + y_i'' \frac{(x - x_i)^2}{2} + (y_{i+1}'' - y_i'') \frac{(x - x_i)^3}{6h_i}, \forall i = \overline{1, n-1}; \quad (3)$$

$$S_1(x) = 10,0 - 0,0119(x - 200) + 0 + 0,00002683 \frac{(x - 200)^3}{6 \cdot 300} = -0,01187x - 1,4906(x - 200)^3 + 12,3749;$$

$$S_2(x) = 6,84 - 7,8502 \cdot 10^{-3}(x - 500) + 0,00002683 \frac{(x - 500)^2}{2} + (-0,00000242 - 0,00002683) \frac{(x - 500)^3}{6 \cdot 500} =$$

$$= -0,00785x + 0,00001341(x - 500)^2 - 9,7505 \cdot 10^{-9}(x - 500)^3 + 10,7651;$$

$$S_3(x) = 5,05 - 1,9041 \cdot 10^{-3}(x - 1000) - 0,00000242 \frac{(x - 1000)^2}{2} + (0,000002885 + 0,00000242) \frac{(x - 1000)^3}{6 \cdot 1000} =$$

$$= -0,001904x - 0,000001210(x - 1000)^2 + 8,842168 \cdot 10^{-10}(x - 1000)^3 + 6,954096;$$

$$S_4(x) = 2,84 - 1,6717 \cdot 10^{-3}(x - 2000) + 0,000002885 \frac{(x - 2000)^2}{2} + (0 - 0,000002885) \frac{(x - 2000)^3}{6 \cdot 1000} =$$

$$= -0,001671x + 0,0000014425(x - 2000)^2 - 4,808433 \cdot 10^{-10}(x - 2000)^3 + 6,163373.$$

Таким чином,

$$S_1(x) = -0,01187x - 1,4906(x - 200)^3 + 12,3749;$$

$$S_2(x) = -0,00785x + 0,00001341(x - 500)^2 - 9,7505 \cdot 10^{-9}(x - 500)^3 + 10,7651;$$

$$S_3(x) = -0,001904x - 0,000001210(x - 1000)^2 + 8,842168(x - 1000)^3 + 6,954096;$$

$$S_4(x) = -0,001671x + 0,0000014425(x - 2000)^2 - 4,808433 \cdot 10^{-10}(x - 2000)^3 + 6,163373;$$

$$\text{для інтервалів } \begin{cases} 200 \leq x_1 \leq 500; \\ 500 \leq x_2 \leq 1000; \\ 1000 \leq x_3 \leq 2000; \\ 2000 \leq x_4 \leq 3000 \end{cases} \text{ відповідно.}$$

Після знаходження сплайнів для відповідних інтервалів побудовано графіки отриманих функцій в одній системі координат (рис. 1).

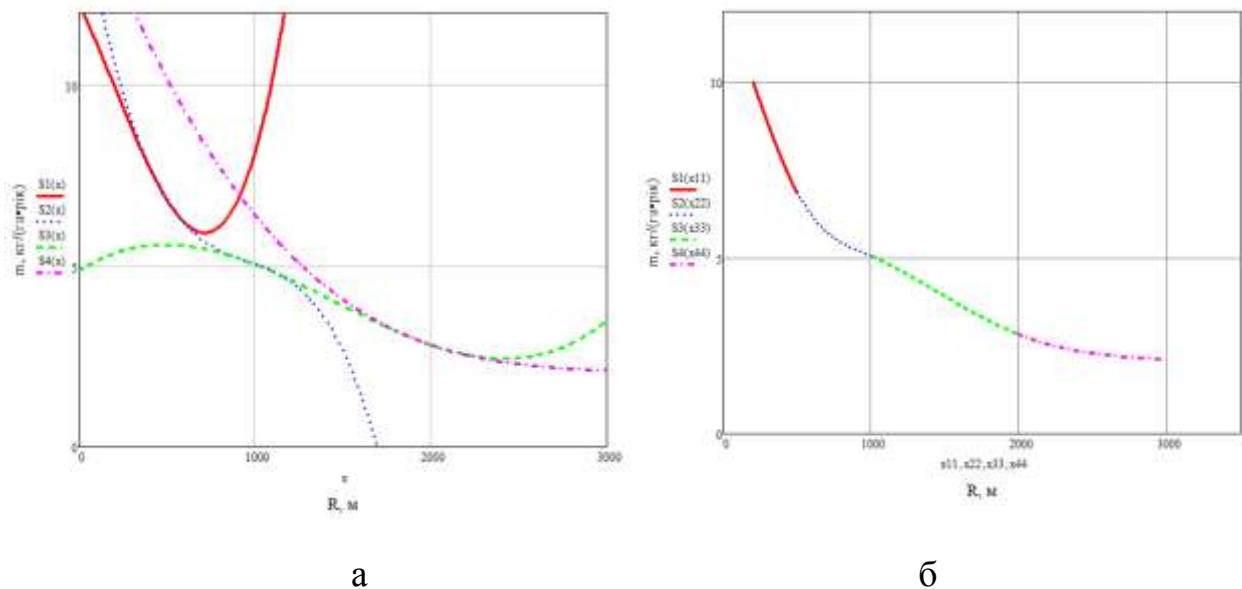


Рис. 1. Залежність радіусу зони запылення від маси пилу за допомогою сплайна 3-го степеня:

а – зображення функцій сплайнів; б – зображення сплайнів для заданих інтервалів

Побудована емпірична залежність радіусу зони запылення від маси пилу, яка здувається з відвалу кар'єра, характеризується досить високою величиною достовірності апроксимації (0,9999).

Висновки

1. Для знаходження залежності радіусу зони запылення від маси пилу, яка здувається з відвалу кар'єра, проведено експеримент. Перевірка рівноточності отриманих в ході експерименту результатів за критерієм Кохрена показала, що при 95%-му рівні надійності $Y_{роз} = 0,593 < Y_{табл} = 0,684$. Це дає змогу стверджувати, що усі результати проведених експериментів рівноточні. Також доведено, що за критерієм Фішера ($F_{роз} = 0,000623 < F_{табл} = 3,1$) результати є адекватними.

2. Побудовано емпіричну залежність радіусу зони запылення від маси пилу, яка здувається з відвалу кар'єра, за допомогою кубічного сплайну з величиною достовірності апроксимації 0,9999.

3. На основі даної залежності можливе прогнозування зони запылення навколо відвалу, що дасть змогу оцінити вплив відвалу на навколишнє середовище та обґрунтовано обирати методи та засоби знепылення відвалу кар'єра.

Список використаних джерел

1. Борьба с пылью на горных предприятиях с использованием долго- и короткоживущих пен повышенной кратности [Текст] / Ю.В. Шувалов [и др.] // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2007. – Отд. вып. № 12: Аэрология. – С. 171 – 179.
2. Гаспарьян, Н.А. Пылеподавление на основе использования фазовых переходов влаги при ведении открытых горных работ [Текст]: автореф. дис. на соиск. уч. степени канд. техн. наук: 05.26.01 / Н.А. Гаспарьян; С.-Петербур. гос. гор. ин-т им. Г.В. Плеханова. – Санкт-Петербург, 2008. – 20 с.
3. Артамонова, В.Г. Профессиональные болезни [Текст]: учеб. / В.Г. Артамонова, Н.Н. Шаталов. – М.: Медицина, 1988. – 420 с.
4. Эксперимент [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%95%D0%BA%D1%81%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B8%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%82#.D0.9F.D0.B0.D1.81.D0.B8.D0.B2.D0.BD.D0.B8.D0.B9_.D0.B5.D0.BA.D1.81.D0.BF.D0.B5.D1.80.D0.B8.D0.BC.D0.B5.D0.BD.D1.82.
5. Грешников, В.А. Статистические методы обработки эмпирических данных [Текст] / В.А. Грешников, Б.Н. Волков, А.И. Кубарев – М.: Изд-во стандартов, 1978. – 232 с.
6. Крылов, В.М. Формальные математические модели [Текст] / В.М. Крылов. [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://chemanalytica.com/book/novyy_spravochnik_khimika_i_tekhnologa/09_protssesy_i_apparaty_khimicheskikh_tekhnologiy_chast_I/5198.
7. Мухачев, В.А. Планирование и обработка результатов эксперимента [Текст]: учеб. пособ. / В.А. Мухачев. – Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2007. – 118 с.
8. Альберг Дж. Теория сплайнов и её приложения [Текст] / Дж. Альберг, Э. Нильсон, Дж. Уолш – М.: Мир, 1972. – 318 с.
9. Ремез, Н.С. Чисельні методи розв'язання навчальних і науково-технічних задач [Текст]: навч. посіб. у 2 ч. / Н.С. Ремез, І.А. Лучко, В.Ф. Мейш – К.: НТУУ «КПІ», 2001. – Ч. II. – 248 с.
10. Медведев, Н.В. Применение сплайнов в теории приближений [Текст]: учеб. пособ. / Н.В. Медведев. – Чебоксары: Чувашский государственный университет, 1977. – 68 с.

Стаття надійшла до редакції 19.05.2016 р.