УДК 622.727.1.3

СПЕЦИФІКА МОДЕЛЮВАННЯ РОЗСІЮВАННЯ ПИЛУ ПРИ БУРІННІ ПІДРИВНИХ СВЕРДЛОВИН У КАР'ЄРІ

А. О. Водяник, докт. техн. наук, Л. А. Сербінова, асп. (НТУУ «КПІ»)

Приведены результаты экспериментальных исследований рассеивания пыли в рабочих зонах гранитного карьера при бурении взрывных скважин. Рассчитаны коэффициенты горизонтальной σ_y и вертикальной σ_z дисперсий. Определены зоны рассеивания пыли для различных метеорологических условий.

Ключевые слова: пыль, гранит, бурение, рабочая зона, дисперсия.

Наведено результати експериментальних досліджень розсіювання пилу в робочих зонах гранітного кар'єру при бурінні підривних свердловин. Розраховано коефіцієнти горизонтальної σ_y та вертикальної σ_z дисперсій. Визначено зони розсіювання пилу для різних метеорологічних умов.

Ключові слова: пил, граніт, буріння, робоча зона, дисперсія.

Results of experimental studies of dust dispersion in the work space of granite quarry in the process of blast hole drilling are presented. Coefficients of horizontal σ_y and vertical σ_z dispersions are calculated. Dust dispersion areas for different meteorological conditions are identified.

Key words: dust, granite, drilling, work space, dispersion.

Вступ. Прогнозування запилення робочих зон та прилеглих до кар'єрів територій є одним з важливих завдань, яке має розв'язуватися для забезпечення нормативних значень концентрацій пилу в робочих зонах та на прилеглих територіях. Це зумовлено тим, що небезпека наднормативного забруднення дрібнодисперсним пилом атмосферного повітря в кар'єрі та за його межами при проведенні гірничих робіт, як показано в численних публікаціях [1–3], є достатньо великою. Тому проблема підвищення ефективності управління пилогазовою небезпекою при експлуатації кар'єрів для працівників кар'єру та населення на прилеглих територіях є актуальною. Для її розв'язання необхідно мати інформацію про інтенсивність виділення пилу технологічними процесами та його розсіювання в атмосферному повітрі.

Для отримання оцінок запилення робочих зон використовуються моделі розсіювання домішок в атмосферному повітрі, що базуються на теорії дифузії. Проте відомі на сьогодні параметри дифузійних моделей [4–8] призначені для моделювання процесу розсіювання на віддалях 100 і більше метрів від джерела виділення домішок. Тому задача обґрунтування таких параметрів для зони розсіювання пилу, враховуючи специфіку руху повітряних мас у зоні від 0 до 100 м, є актуальною і потребує розв'язання.

Аналіз стану досліджень і публікацій з моделювання розсіювання домішки в атмосфері. Однією із найпоширеніших моделей розсіювання домішки в атмосфері є модель виду [4]

$$C(x,y,z)=\frac{M}{4\pi\sqrt{k_y k_z}}\exp\left[-\frac{W}{4x}\left(\frac{y^2}{k_y}+\frac{z^2}{k_z}\right)\right], \quad (1)$$

де *C(x, y, z)* – концентрація речовини в точці з координатами *x*, *y*, *z*, мг/м^3; *M* – інтенсивність виділення домішки в атмосферу джерелом викиду, г/с; *W* – швидкість вітру, м/с; k_y, k_z – коефіцієнти турбулентної дифузії вздовж відповідного джерела.

З рівняння (1) видно, що концентрація від точкового джерела безперервно убуває вздовж осі *x* як x^{-1}, а її зміни в напрямках *y* і *z* описується нормальним законом розподілу Гауса з дисперсіями [4]:

$$\sigma_y=\frac{2k_y x}{W}, \quad \sigma_z=\frac{2k_z x}{W}. \quad (2)$$

З урахування (2) рівняння (1), що описує зміни концентрації за напрямком вітру (вісь *x*) від безперервного об'ємного джерела запишеться у вигляді

$$C(x,y,z)=\frac{M}{2\ \ _y\ _z W}\exp\left(-\frac{y^2}{\ \ ^2_y}-\frac{z^2}{\ \ ^2_z}\right). \quad (3)$$

Рівняння (3) є базовим для дисперсійної моделі атмосферної дифузії (гаусової моделі).

Для розподілу концентрації від безперервного точкового джерела, розташованого на висоті H над поверхнею землі, рівняння (3) набуває вигляду

$$C(x,y,z,H)=\frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_z W}\exp\left[-\left(\frac{y^2}{\sqrt{2\sigma_y}}\right)^2\right]\left\{\exp\left[\left(\frac{z-H}{\sqrt{2\sigma_z}}\right)^2\right]+\exp\left[\left(\frac{z+H}{\sqrt{2\sigma_z}}\right)^2\right]\right\}, \quad (4)$$

де Q – потужність (інтенсивність) викиду, г/с; *H* – висота джерела, м; σ_y, σ_z – дисперсії розсіювання в горизонтальному та вертикальному напрямках відповідно, м; *W* – швидкість вітру, м/с.

Вираз у фігурних дужках рівняння (4) характеризує умови вертикального розсіювання домішок в атмосферному повітрі, тому його прийнято позначати літерою *V*. Тоді рівняння моделі розсіювання домішки у приземному шарі атмосферного повітря набуває вигляду

$$C(x,y,z)=\frac{QKV}{2\ \cdot u_s\cdot\ _y\cdot\ _z}\cdot\exp\left(-0{,}5\cdot\frac{y^2}{\sigma_y^2}\right), \quad (5)$$

де *K* – коефіцієнт перерахунку = $1\cdot10^6$; u_s – швидкість вітру на ефективній висоті джерела викиду, м/с.

У рівнянні (5) Q (M), u_s, V визначаються за фактичними параметрами швидкості вітру, висоти джерела викиду та умов атмосферної стратифікації σ_y, σ_z – розраховуються за емпіричними залежностями.

В рекомендаціях [5, 6] для визначення дисперсій розсіювання викидів у атмосферу запропоновано використовувати залежності

$$\sigma_y = a_1 \cdot x^{\alpha_1}; \qquad \sigma_z = b_1 \cdot x^{\beta_1}, \tag{6}$$

де α_1, β_1 та a_1, b_1 – емпіричні коефіцієнти, які залежать від класу стабільності атмосфери; x – відстань за напрямком вітру, км.

В роботах [7, 8], поперечну σ_y і вертикальну σ_z дисперсії пропонується розраховувати за формулами

$$\sigma_y = \frac{\alpha_y x}{\sqrt{1+10^{-4} x}}; \tag{7}$$

$$\sigma_z = \frac{\alpha_z x}{s_z(x)}, \tag{8}$$

де α_y, α_z, $s_z(x)$ – емпіричні коефіцієнти для відповідного класу стабільності атмосфери.

Найчастіше для визначення дисперсій використовують залежності запропоновані Паскуілом [9, 10]:

$$\sigma_y = 456{,}11628 \cdot x \cdot \tan\{0{,}01745329[c - d \cdot \ln(x)]\}; \tag{9}$$

$$\sigma_z = a \cdot x^b, \tag{10}$$

де a, b, c, d – емпіричні коефіцієнти, що залежать від класів стабільності атмосфери; x – відстань за напрямком вітру, км.

Значення емпіричних коефіцієнтів у формулах (6)–(10) наведено у відомих рекомендаціях [4–10] для віддалей від джерела викиду, що становлять більш ніж 100 м. Для віддалей від 0 до 100 м ці значення потребують уточнення.

Метою статті є уточнення параметрів дисперсійної моделі та дослідження розсіювання в атмосферному повітрі кар'єру пилу при бурінні підривних свердловин.

Викладення результатів експериментальних та аналітичних досліджень. Для розв'язання поставленої задачі було виконано вимірення концентрацій пилу з використанням аспіратора «АЭРА» в типовому гранітному кар'єрі на різних віддалях від працюючого бурового верстата пневмоударного буріння. Точки відбору проб розташовувались на віддалях від 1 до 100 м.

Перша серія вимірів виконувалася при таких умовах: швидкість виходу запиленого повітря із свердловини ω_0 = 0,75 м/с; середня швидкість вітру v = 5–12 м/с; вологість повітря w = 49–55 %; температура навколишнього

середовища 18° С; стабільність атмосфери – *С* (слабка конвекція – з швидкістю вітру $v > 6$ м/с та сильним рівнем сонячного освітлення). Друга серія вимірів виконувалася при швидкості виходу забруднювача із свердловини $\omega_0 = 0{,}75$ м/с; середній швидкості вітру $v = 2$ м/с; вологості повітря $w = 95$ %; температурі навколишнього середовища 4,2 °С; стабільності атмосфери *В* (середня конвекція – з швидкістю вітру $v = 2$–3 м/с та середнім рівнем сонячного освітлення).

Результати вимірювання наведено на рис. 1.

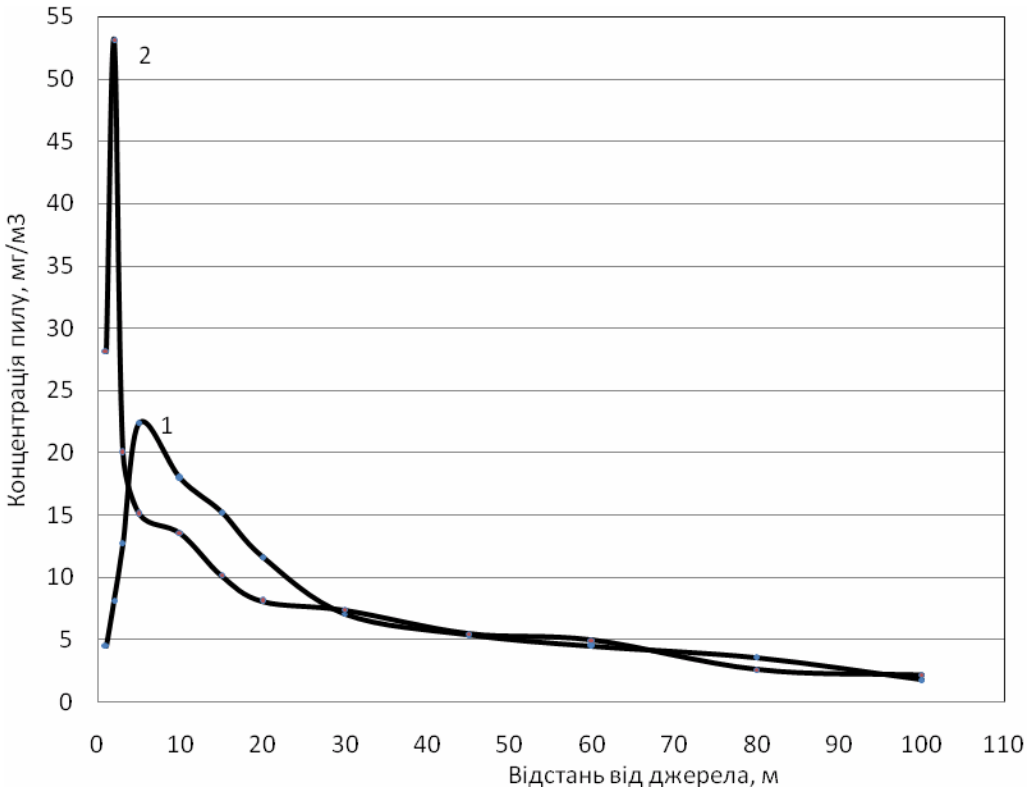

Рис. 1. Залежність концентрації гранітного пилу при бурінні підривних свердловин від віддалі до джерела викиду: *1* – перша серія вимірів; *2* – друга серія вимірів

З рис. 1 випливає, що максимальна концентрація пилу при роботі бурового верстата становила 22,4 мг/м^3 на відстані 5 м від верстата – перша серія вимірів і 53,2 мг/м^3 на відстані 3 м від верстата – друга серія. На віддалі 100 м від верстата концентрація пилу дорівнювала 1,8 мг/м^3 у першій серії та 2,2 мг/м^3 – у другій.

За результатами вимірювання концентрації з використанням формули (5), експериментальних значень концентрацій $C(x, 0, 2)$ у кожній точці вимірювання та фактичних значень швидкості вітру, інтенсивності викиду, висоти джерела та швидкості викиду запиленого повітря із свердловини було розраховано коефіцієнти горизонтальної σ_y і вертикальної σ_z дисперсій (рис. 2 і 3, лінії *1–2*). На цих рисунках (лінії *3–4* наведено також значення горизонтальної та вертикальної дисперсій, розрахованих з використанням формул (9)–(10)) та відомих з літератури значень емпіричних коефіцієнтів *a*, *b*, *c*, *d* лінії *3–4* [4–10].

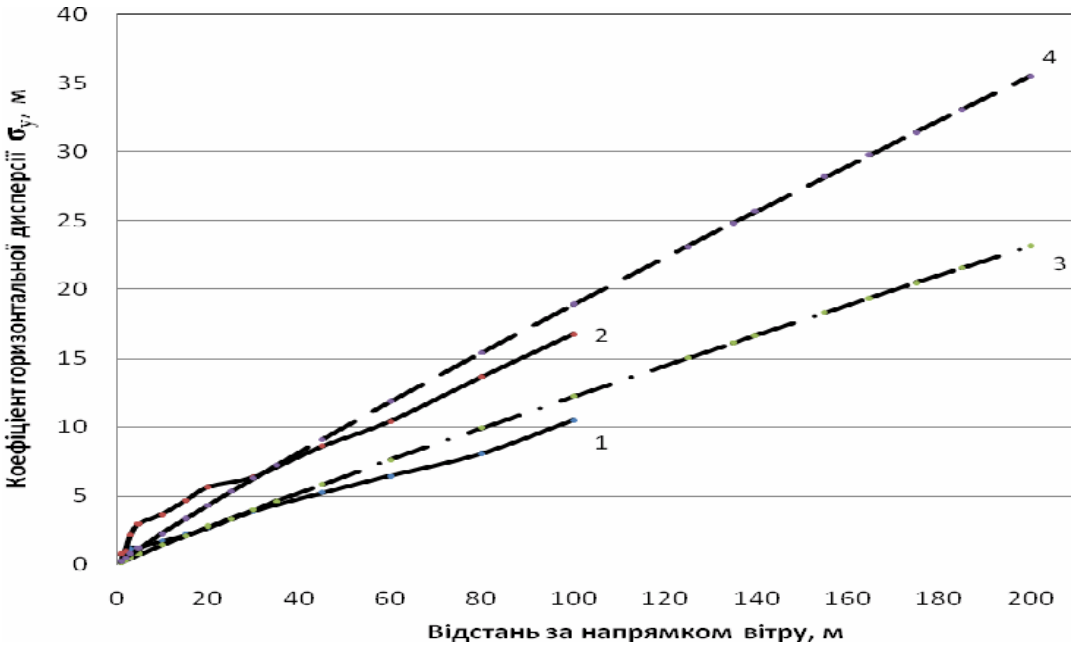

Рис. 2. Залежність коефіцієнта горизонтальної дисперсії від віддалі за напрямком вітру: *1* – розраховано за результатами вимірювання у першій серії; *2* – те ж, у другій серії; *3* – розраховано за формулою (9) для умов першої серії; *4* – розраховано за формулою (9) для умов другої серії

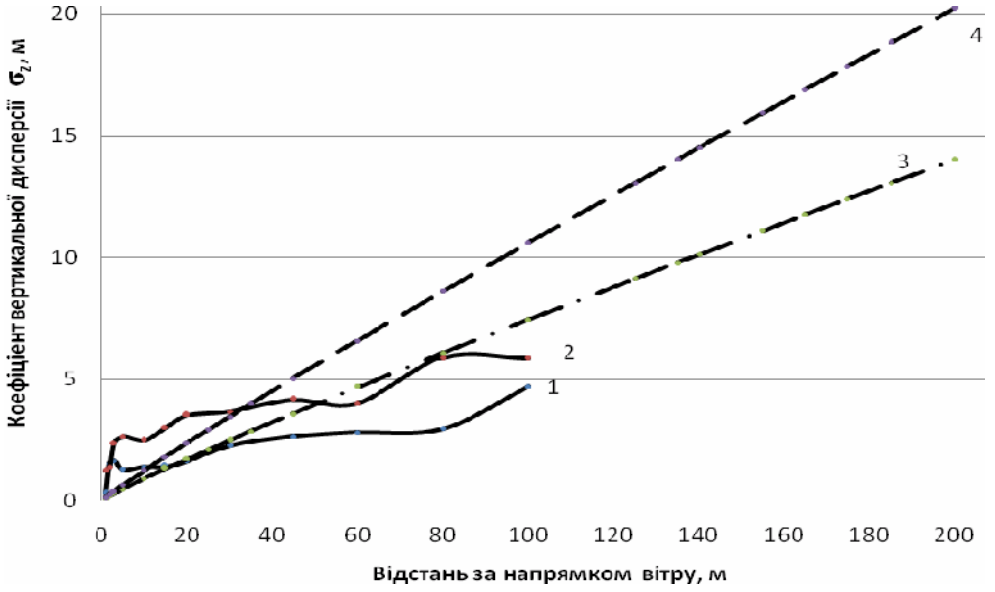

Рис. 3. Залежність коефіцієнта вертикальної дисперсії від віддалі за напрямком вітру: *1* – розраховано за результатами вимірювання у першій серії; *2* – те ж, у другій серії; *3* – розраховано за формулою (10) для умов першої серії; *4* – розраховано за формулою (10) для умов другої серії

Аналіз рис. 2–3 показує, що різниця між значеннями коефіцієнтів горизонтальної дисперсії σ_y, отриманими за результатами вимірювання та розрахованими за формулою (9), є несуттєвою (рис. 2). Коефіцієнти

вертикальної дисперсії σ_z, отримані за результатами вимірювання та розраховані за формулою (10), відрізняються за абсолютними значеннями, за формою залежності від відстані та за кутом нахилу до осі абсцис.

Для визначення впливу відмінностей значень коефіцієнтів дисперсії, отриманих за результатами вимірювання і розрахованих за формулами (9), (10) з використанням моделі розсіювання пилу в атмосфері (5) побудовано зони розсіювання пилу при бурінні підривних свердловин (рис. 4). Межі зон вибрано так, що концентрація пилу на них дорівнює гранично допустимому значенню для робочої зони ($ГДК_{рз.}$= 2 мг/м^3 для гранітного пилу з вмістом у ньому SiO_2 10–70 %).

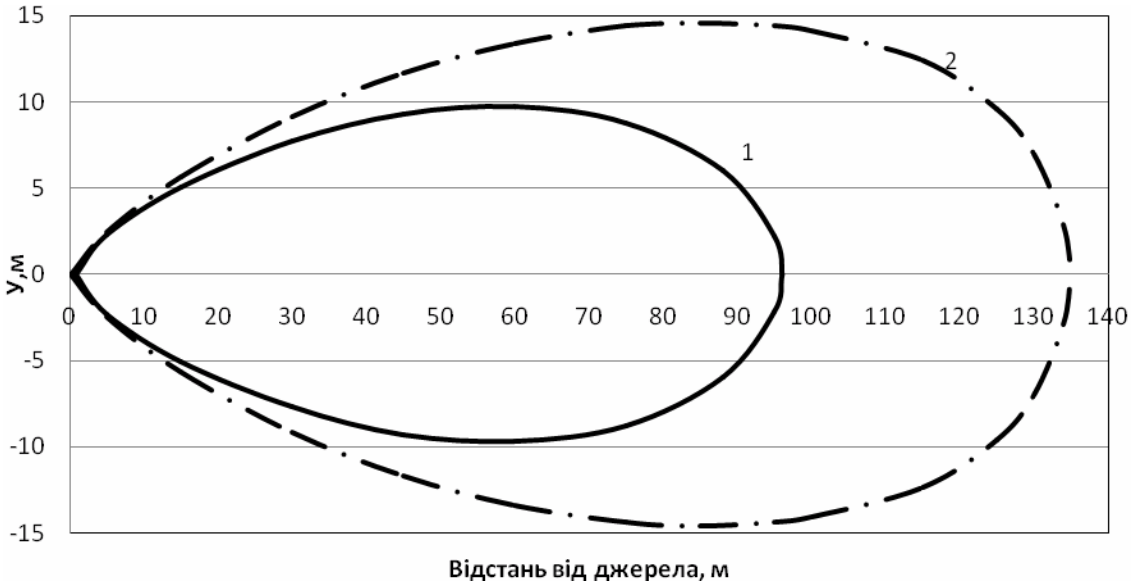

Рис. 4. Зони розсіювання пилу при бурінні підривних свердловин: *1* – за значеннями *C*(*x*, 0, 2), отриманими в результаті вимірювання для першої серії; *2* – за відомими емпіричними коефіцієнтами *a*, *b*, *c*, *d* [4–10] для умов першої серії

Аналіз рис. 4 показує, що зона розсіювання, отримана з використанням класичного підходу для визначення коефіцієнта дисперсії, має більші розміри, ніж при визначенні таких коефіцієнтів вимірюванням концентрацій.

Оскільки різниця між коефіцієнтами горизонтальної дисперсії σ_y, отриманими за результатами вимірювання і згідно з класичним підходом, невелика, то при інших однакових умовах різницю розмірів зон розсіювання визначають коефіцієнти вертикальної дисперсії σ_z. Пояснити це можна тим, що на них впливають вертикальні рухи атмосферного повітря, зумовлені особливостями повітрообміну в кар'єрі.

Висновки. У результаті вимірювання фактичної концентрації пилу при бурінні підривних свердловин у гранітному кар'єрі в діапазоні віддалей від джерела викиду 0…100 м, виявлено, що емпіричні параметри, які рекомендуються для розрахунку дисперсій, не забезпечують адекватного моделювання розсіювання пилу біля наземного джерела викидів.

Встановлено, що урахування характеристик фактичного розсіювання пилу при моделюванні забезпечує отримання меншої зони розсіювання за

рахунок зменшення коефіцієнта вертикальної дисперсії σ_z. Пояснити це можна тим, що на нього впливають вертикальні рухи атмосферного повітря, зумовлені особливостями повітрообміну в кар'єрі.

Таким чином, у процесі моделювання розсіювання пилу в робочих зонах кар'єру біля наземних малопотужних джерел викиду необхідно враховувати специфіку змін значень вертикальної дисперсії.

1. *Лобода А. И.* Борьба с пылью на открытых горных работах / А. И. Лобода, Б. Н. Ребристый, В. Ю. Тыщук. – К.: Техніка, 1989. – 152 с.

2. *Янов А. П.* Руководство по защите рудничной атмосферы от загрязнения (Открытые горные работы) / А. П. Янов, П. В. Бересневич, А. А. Галушкина. – Кривой Рог. – 1988. – 175 с.

3. *Ефремов Э. И.* Проблемы экологии массовых взрывов в карьерах / Э. И. Ефремов, П. В. Бересневич, В. Д. Петренко и др. – Днепропетровск: Січ, 1996. – 180 с.

4. *Бруяцкий Е. В.* Теория атмосферной диффузии радиоактивных выбросов / Е. В. Бруяцкий. – К.: Институт гидромеханики НАН Украины, 2000. – 443 с.

5. *Atmospheric dispersion* in nuclear power plant siting. – Safety ser. N 50-SG-53: Vienna, IAEA. – 1980. – 106 p.

6. *Generic Models* and Parameters for Assessing the Environmental Transfer of Radionuclides from Routine Releases. Exposures of critical groups. IAEA Safety Series N 57. Vienna: IAEA, 1982. – 217 p.

7. *Pasquill F.* Atmospheric diffusion. 2-nd ed. – NJ: John Wiley and Sons, 1975. – 298 p.

8. *Gifford F.* Statistical properties of a fluctuation plume model // Adv. Geophys. – 1959. – 6–117 p.

9. *Берлянд М. Е.* Климатические характеристики русловий распространения примесей в атмосфере / М. Е. Берлянд . – Л.: Гидрометиздат, 1983. – 328 с.

10. *Briggs G.* 1969 Plume rise. – USA EC Division of Tech. Information Extension (TID-25075). – 76 p.

Надійшла до редакції 22.12.2011 р.
Рекомендовано до друку д.т.н., проф. В. С. Прокопенком