

TECHNICAL SCIENCES**ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ЗАХВОРЮВАНОСТІ ПРАЦІВНИКІВ НА ОБ'ЄКТАХ ГІРНИЧОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ ТА ОЦІНЮВАННЯ РИЗИКУ НЕБЕЗПЕКИ****Біляєв М.М.**

*д.т.н., професор,
кафедра «Гідравліка, водопостачання та фізика»
Український державний університет науки і технологій
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1531-7882>*

Козачина В.А.

*к.т.н., доцент,
кафедра природничо-наукових та загальноінженерних дисциплін
ТОВ «Технічний Університет «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»
<https://orcid.org/0000-0002-6894-5532>*

Кіріченко П.С.

*к.т.н., доцент,
кафедра «Теплогазоводопостачання, водовідведення і вентиляція»
Криворізький національний університет
ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-4031-7693>*

Біляєва В.В.

*д.т.н., професор,
кафедра «Енергетичні системи та енергоменеджмент»
Український державний університет науки і технологій
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2399-3124>*

Машихіна П.Б.

*к.т.н., доцент,
кафедра «Гідравліка, водопостачання та фізика»
Український державний університет науки і технологій
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3057-9204>*

RESEARCH ON THE ILLNESS REGULARITIES AMONG WORKERS AT MINING INDUSTRY FACILITIES AND HAZARD RISK ASSESSMENT**Biliaiev M.**

*D. Sc. (Tech.), Prof.,
dep. «Hydraulics, Water Supply and Physics»
Ukrainian State University of Science and Technologies
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1531-7882>*

Kozachyna V.

*Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.,
dep. «Natural Sciences and General Engineering Disciplines»
LLC «Technical University «METINVEST POLYTECHNIC»
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6894-5532>*

Kirichenko P.

*Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.,
dep. «Heat, Gas, Water Supply, Water Drainage and Ventilation»
Kryvyi Rih National University
ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-4031-7693>*

Biliaieva V.

*D. Sc. (Tech.), Prof.,
dep. «Energy Systems and Energy Management»
Ukrainian State University of Science and Technologies
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2399-3124>*

Mashykhina P.

*Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.,
dep. «Hydraulics, Water Supply and Physics»
Ukrainian State University of Science and Technologies
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3057-9204>*

Анотація

Функціонування практично усіх об'єктів гірничого комплексу пов'язано з інтенсивним забрудненням робочих зон. Це є небезпечним явищем, що створює негативний вплив на здоров'я працівників. Важливим аспектом є аналіз закономірностей розвитку професійних захворювань у працівників та визначення небезпечних факторів, що впливають на появу професійних захворювань. В роботі наведено результати аналізу захворювань працівників на Центральному гірничо-збагачувальному комбінаті (ЦГЗК), м. Кривий Ріг. Визначено, що найбільш небезпечним фактором є пилове забруднення робочих зон. Наведено чисельну модель для оцінювання пилового забруднення повітря в робочих зонах.

Abstract

The operation of almost all mining facilities is associated with intense pollution of work areas. This is a dangerous phenomenon that creates a negative impact on the health of workers. An important aspect is the analysis of the patterns of development of occupational diseases in workers and the identification of hazardous factors that affect the occurrence of occupational diseases. The paper presents the results of the analysis of diseases of workers at the Central Mining and Processing Plant, Kryvyi Rih. It is determined that the most dangerous factor is dust pollution of working areas. A numerical model for estimating dust pollution in the air in the working areas is presented.

Ключові слова: професійні захворювання, пилове забруднення повітря, робоча зона, чисельне моделювання, рівняння масопереносу.

Keywords: occupational diseases, dust air pollution, working area, numerical simulation, mass transfer equation.

Вступ

Забруднення повітря робочих зон на підприємствах гірничого комплексу є дуже небезпечним явищем. Забруднення повітря має місце при видобуванні руди, вугілля, обробки сировини, її транспортуванні та зберіганні [4-11]. Тому серед працівників гірничої галузі має місце значний рівень професійних захворювань. Але існуючи дані щодо рівня захворювання працівників потребують аналізу та систематизації. Така систематизація дає можливість визначити закономірності появи захворювань протягом певного періоду часу, визначити, які захворювання переважають та визначити небезпечні фактори, що сприяють появі захворювань. Для практики також дуже важливим є розробка спеціалізованих математичних моделей для оцінювання ризику захворювання працівників та прогнозування рівня забруднення повітря в робочих зонах.

Мета

Аналіз рівня захворювання працівників на об'єкті гірничої промисловості та розробка чисельної моделі переносу пилу в робочих зонах.

Методика

Було здійснено аналітичний огляд інформації щодо кількості захворювань працівників на Центральному гірничо-збагачувальному комбінаті (ЦГЗК), м. Кривий Ріг. Здійснений аналіз матеріалів (матеріали за 2021-2025 рр.) дозволив виділити наступні важливі аспекти:

1. Найбільш поширеними є наступні діагнози серед працівників:

- хронічне обструктивне захворювання легень (ХОЗЛ);
- вібраційна хвороба (часто у машиністів, дробильників, водіїв транспорту);
- радикулопатія, хронічний бронхіт;
- сидеросилікоз, пневмоконіоз (особливо у підземних робітників, електрозварників);

- порушення слуху (глухість, туговухість) – у частини машиністів і слюсарів.

2. Найбільші «вразливими» є працівники наступних професій:

- дробильники, машиністи (конвеєрів, екскаваторів, тепловозів, бульдозерів);
- водії автотранспортних засобів;
- прохідники, гірники очисного вибою;
- майстри підземних дільниць.

3. Віковий склад хворих є наступним:

- частина випадків припадає на працівників зі стажем 20-30 років;
- середній вік зафіксованих випадків – 40-55 років.

4. Тенденції:

- 2021-2022 рр. – найбільше випадків ХОЗЛ та вібраційної хвороби;
- 2023-2024 рр. – збільшення кількості діагнозів «сидеросилікоз» та «пневмоконіоз» серед підземних працівників;
- 2025 р. – зберігається домінування ХОЗЛ та хронічних бронхітів.

Аналіз матеріалів досліджень показав, що **пилові захворювання складають таку частку від загальної кількості захворювань:**

- 2021 р. – **66,7%**;
- 2022 р. – **77,8%**;
- 2023 р. – **76,5%**;
- 2024 р. – **81,2%**;
- 2025 р. – **66,7%**.

Таким чином, основна маса професійних захворювань на підприємстві пов'язана саме з пиловим фактором, **що становить від 66% до 81% усіх випадків профзахворювань** на ПрАТ «ЦГЗК». Динаміка «пилових» профзахворювань у працівників показана на рис. 1.

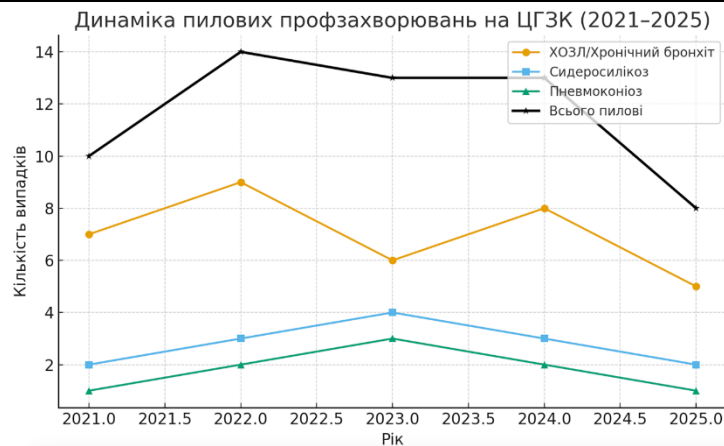


Рис. 1. Динаміка «пилових» профзахворювань у працівників

Таким чином, боротьба з пиловим забрудненням повітря в робочих зонах є особливо важливою задачею в галузі охорони праці та екологічної безпеки. Для рішення цієї важливої задачі впроваджуються різні засоби та методи знепилювання.

Слід підкреслити, що для практики недостатньо здійснювати оцінювання ефективності використання різних засобів зменшення пилового забруднення повітря в робочих зонах лише по зменшенню розмірів областей пилового забруднення на промислових майданчиках. Потрібно мати оцінку, що дає можливість визначити безпосередньо вплив забруднення повітря на працівника при використанні того або іншого засобу захисту від пилового забруднення повітря. Для цього використовуються різні моделі оцінювання ризику. В даній роботі використовується методика US EPA (США). Розроблена комп'ютерна програма для розрахунку ризику на базі цієї методики. Ця програма інтегрована в чисельну модель прогнозу пилового забруднення повітря в робочих зонах, що розглянута нижче.

Порядок розрахунку за методикою US EPA такий:

1. Визначаються наступні параметри:

- T – робочий час працівника;
- R – витрата повітря при диханні ($\text{м}^3/\text{година}$);
- F – кількість робочих днів протягом року;
- D – кількість років, що працює людина;
- BW – вага людини.

2. Розраховується параметр:

$$AT = D \cdot F$$

3. Розраховується концентрація пилу в робочій зоні C (в даній роботі концентрація в робочій зоні визначається на базі розроблених чисельних моделей масопереносу та аеродинаміки).

4. Визначається добова доза DD (Daily Doze):

$$DD = \frac{C \cdot R \cdot T \cdot F \cdot D}{BW \cdot AT}$$

5. Розраховується реферативна доза RfD :

$$RfD = \frac{RfC \cdot IR}{BW} \quad (1)$$

де IR – витрата повітря при диханні ($\text{м}^3/\text{доба}$); RfC – реферативна концентрація (для $\text{PM}_{2.5}=5$ $\text{мг}/\text{м}^3$).

Відзначимо, що величина RfD показує концентрацію пилу, при якій не буде шкоди здоров'ю працівника.

Як можна бачити з наведених залежностей, дана методика враховує ряд важливих параметрів працівника: стать, вагу (параметри R , BW).

Для експрес оцінювання ризику для працівників використовується параметр – відносний ризик RR :

$$RR = e^{\beta(C-C_0)} \quad (2)$$

де $\beta = 0.038\%$; C – концентрація пилу в робочій зоні; $C_0 = 5$ $\text{мг}/\text{м}^3$ для $\text{PM}_{2.5}$.

Найбільш спрощеною моделлю оцінювання ризику для здоров'я працівників є коефіцієнт небезпеки:

$$HQ = \frac{AC}{RfC} \quad (2a)$$

де AC – концентрація пилу в робочій зоні.

Стосовно моделей (1), (2) та (2a) слід відзначити один вкрай важливий аспект – для їх використання необхідним є науково-обґрунтоване визначення значення концентрації пилу в робочій зоні. Інші параметри, наприклад, вага працівника, тривалість робочого часу тощо визначаються однозначно.

Розглянемо тривимірну модель прогнозу пилового забруднення робочих зон. Моделюючим рівнянням є тривимірне рівняння масопереносу:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial uC}{\partial x} + \frac{\partial vC}{\partial y} + \frac{\partial (w - w_s)C}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\mu_z \frac{\partial C}{\partial z} \right) + Q_i(t) \cdot \delta(x - x_i) \cdot \delta(y - y_i) \cdot \delta(z - z_i), \quad (3)$$

де C – масова концентрація пилу в атмосфері; μ_x, μ_y, μ_z – коефіцієнти атмосферної турбулентної дифузії; $u(x, y, z), v(x, y, z), w(x, y, z)$ – компоненти вектору швидкості повітряного потоку; w_s – швидкість осадження пилу; Q – інтенсивність емісії пилу, що потрапляє в атмосферу; $\delta(x-x_i) \cdot \delta(y-y_i) \cdot \delta(z-z_i)$ – дельта-функція Дірака; (x_i, y_i, z_i) – координати точкового джерела викиду домашки; t – час.

Рівняння (3) доповнюється граничними умовами, що розглянуті в [1, 3].

При практичній реалізації чисельної моделі використовуються наступні співвідношення:

$$\begin{aligned} \mu_x &\approx \mu_y, \\ \mu_y &= k_0 \cdot u, \end{aligned}$$

$$\mu_z = k_1 \left(\frac{z}{z_1} \right)^m,$$

де $k_0 = 0,1 \div 1 м$; $k_1 = 0,1 \div 0,2 м^2/с$, $m \approx 1$.

Зміна швидкості вітру з висотою z розраховується так:

$$u = u_1 \cdot \left(z/z_1 \right)^n,$$

де u_1 – швидкість вітру на висоті z_1 , $n=0,16$.

Чисельне інтегрування рівняння (3) здійснюється за допомогою методу фізичного розщеплення та використання кінцево-різницевої схем. Має місце наступне розщеплення рівняння (3) [3]:

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{\partial \overset{1}{C}}{\partial t} + \frac{1}{2} \operatorname{div}(\vec{V}^+ \overset{1}{C}) + \frac{1}{4} \sigma \overset{1}{C} &= \frac{1}{4} \left(\frac{\partial}{\partial x} (\bar{\mu}_{1x} \frac{\partial \overset{1}{C}}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (\bar{\mu}_{1y} \frac{\partial \overset{1}{C}}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z} (\bar{\mu}_{1z} \frac{\partial \overset{1}{C}}{\partial z}) \right); \\ \frac{\partial \overset{2}{C}}{\partial t} + \frac{1}{2} \operatorname{div}(\vec{V}^- \overset{2}{C}) + \frac{1}{4} \sigma \overset{2}{C} &= \frac{1}{4} \left(\frac{\partial}{\partial x} (\bar{\mu}_{2x} \frac{\partial \overset{2}{C}}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (\bar{\mu}_{2y} \frac{\partial \overset{2}{C}}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z} (\bar{\mu}_{2z} \frac{\partial \overset{2}{C}}{\partial z}) \right); \\ \frac{\partial \overset{3}{C}}{\partial t} + \frac{1}{2} \operatorname{div}(\vec{V}^- \overset{3}{C}) + \frac{1}{4} \sigma \overset{3}{C} &= \frac{1}{4} \left(\frac{\partial}{\partial x} (\bar{\mu}_{2x} \frac{\partial \overset{3}{C}}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (\bar{\mu}_{2y} \frac{\partial \overset{3}{C}}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z} (\bar{\mu}_{2z} \frac{\partial \overset{3}{C}}{\partial z}) \right); \\ \frac{\partial \overset{4}{C}}{\partial t} + \frac{1}{2} \operatorname{div}(\vec{V}^+ \overset{4}{C}) + \frac{1}{4} \sigma \overset{4}{C} &= \frac{1}{4} \left(\frac{\partial}{\partial x} (\bar{\mu}_{1x} \frac{\partial \overset{4}{C}}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (\bar{\mu}_{1y} \frac{\partial \overset{4}{C}}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z} (\bar{\mu}_{1z} \frac{\partial \overset{4}{C}}{\partial z}) \right); \\ \frac{\partial \overset{5}{C}}{\partial t} &= \sum_{i=1}^n Q_i(t) \delta(x - x_i) \delta(y - y_i) \delta(z - z_i). \end{aligned} \right. \quad (4)$$

В системі рівнянь (4) використовуються наступні позначення:

$$\begin{aligned} \vec{V}^+ &= \{u^+, v^+, w^+\}, \vec{V}^- = \{u^-, v^-, w^-\}, \\ u^+ &= \frac{u + |u|}{2}, u^- = \frac{u - |u|}{2}, v^+ = \frac{v + |v|}{2}, v^- = \frac{v - |v|}{2}, w^+ = \frac{w + |w|}{2}, w^- = \frac{w - |w|}{2}, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{\mu}_{1x} &= \frac{\mu}{1 + \frac{u^+ \Delta x}{\mu}}, \bar{\mu}_{1y} = \frac{\mu}{1 + \frac{v^+ \Delta y}{\mu}}, \bar{\mu}_{1z} = \frac{\mu}{1 + \frac{w^+ \Delta z}{\mu}}, \\ \bar{\mu}_{2x} &= \frac{\mu}{1 - \frac{u^- \Delta x}{\mu}}, \bar{\mu}_{2y} = \frac{\mu}{1 - \frac{v^- \Delta y}{\mu}}, \bar{\mu}_{2z} = \frac{\mu}{1 - \frac{w^- \Delta z}{\mu}}.\end{aligned}$$

Кожне рівняння системи (4) описує один напрямок переносу збурень через грані різницевої комірки. Різницевий аналог системи (4) записується так [3]:
– перший крок:

$$\begin{aligned}\frac{{}^1 C_{ijk}^{n+1} - {}^1 C_{ijk}^n}{\Delta t} + (L_x^+ + L_y^+ + L_z^+)(C_{ijk}^{n+1} \xi + C_{ijk}^n (1 - \xi)) + \\ + \frac{\sigma}{4} {}^1 C_{ijk}^{n+1/2} = \frac{1}{4} \left[\begin{aligned} & (M_{xx}^+ + M_{yy}^+ + M_{zz}^+) {}^1 C_{ijk}^{n+1} + \\ & + (M_{xx}^- + M_{yy}^- + M_{zz}^-) {}^1 C_{ijk}^n \end{aligned} \right], \quad (5)\end{aligned}$$

де $\xi \in [0, 1]$ – параметр $C_{ijk}^{n+1/2} = \frac{{}^1 C_{ijk}^{n+1} + {}^1 C_{ijk}^n}{2}$;

– другий крок:

$$\begin{aligned}\frac{{}^2 C_{ijk}^{n+1} - {}^2 C_{ijk}^n}{\Delta t} + (L_x^- + L_y^- + L_z^-)(C_{ijk}^{n+1} \xi + C_{ijk}^n (1 - \xi)) + \\ + \frac{\sigma}{4} {}^2 C_{ijk}^{n+1/2} = \frac{1}{4} \left[\begin{aligned} & (M_{xx}^- + M_{yy}^- + M_{zz}^-) {}^2 C_{ijk}^{n+1} + \\ & + (M_{xx}^+ + M_{yy}^+ + M_{zz}^+) {}^2 C_{ijk}^n \end{aligned} \right]. \quad (6)\end{aligned}$$

– третій крок – використовується різницеве рівняння (6), четвертий крок – застосовується диференціальне рівняння (5), п'ятий крок записується так [3]:

$$\frac{{}^5 C_{ijk}^{n+1} - {}^5 C_{ijk}^n}{\Delta t} = \sum_{i=1}^n \frac{Q_i(t^{n+1/2}) \delta(x - x_i) \delta(y - y_i) \delta(z - z_i)}{\Delta x \Delta y \Delta z}. \quad (7)$$

В дискретному вигляді дельта-функція Дірака «розмазується» по об'єму різницевої комірки зі збереженням сумарної кількості забруднення, дельта-функція дорівнює нулю скрізь, крім комірок, де розташоване i -те джерело забруднення.

В різницевих рівняннях використовуються такі оператори:

$$L_x^+ = \frac{u_{i+1,j,k}^+ C_{ijk} - u_{i,j,k}^+ C_{i-1,j,k}}{2\Delta x}, L_x^- = \frac{u_{i+1,j,k}^- C_{i+1,j,k} - u_{i,j,k}^- C_{i,j,k}}{2\Delta x},$$

$$L_y^+ = \frac{v_{i,j+1,k}^+ C_{ijk} - v_{i,j,k}^+ C_{i,j-1,k}}{2\Delta y}, L_y^- = \frac{v_{i,j+1,k}^- C_{i,j+1,k} - v_{i,j,k}^- C_{i,j,k}}{2\Delta y},$$

$$L_z^+ = \frac{w_{i,j,k+1}^+ C_{ijk} - w_{i,j,k}^+ C_{i,j,k-1}}{2\Delta z}, L_z^- = \frac{w_{i,j,k+1}^- C_{i,j,k+1} - w_{i,j,k}^- C_{i,j,k}}{2\Delta z}.$$

Здійснено програмну реалізацію розглянутої чисельної моделі переносу пилу в атмосферному повітрі. Для визначення поля швидкості повітряного потоку в робочій зоні використовується тривимірне рівняння Лапласа для потенціалу швидкості. Для чисельного інтегрування тривимірного рівняння Лапласа для потенціалу швидкості використовуються різницеві схеми, аналогічні тим, що розглянути в [2].

Для програмування побудованих чисельних моделей використовувався FORTRAN.

Далі, на рис. 2 показано результати рішення модельної задачі – визначення області пилового забруднення на промисловому майданчику при розташуванні захисного бар’єру $H=2\text{м}$ перед областю пилоутворення. Інтенсивність пилоутворення задавалася так: $Q=100\text{ мг}/(\text{м}^2\cdot\text{с})$. В табл. 1 показано значення коефіцієнта небезпеки при різній швидкості V повітряного потоку для точки, що розташована на висоті 2 м та відстані 5 м від малого бар’єру (робоча зона), що знаходиться на межі області пилоутворення.

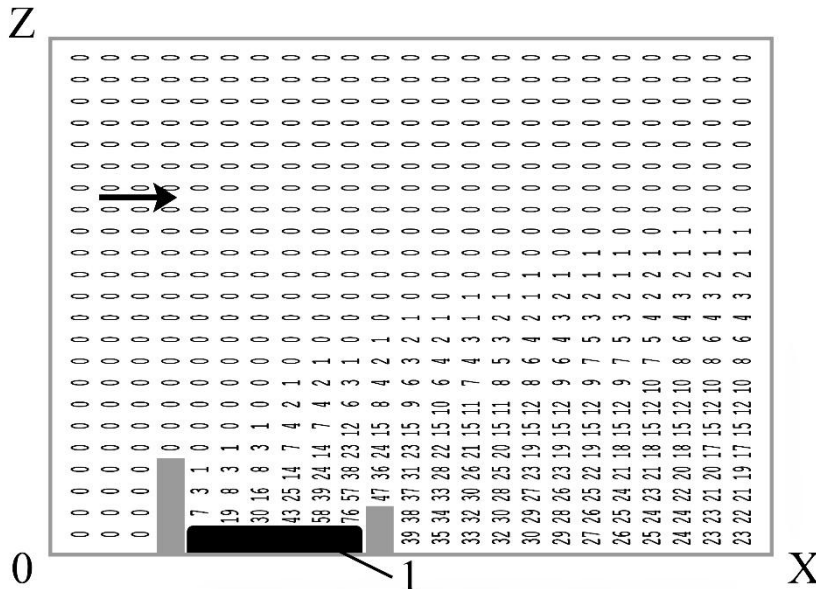


Рис. 2. Концентрація пилу, мг/м3 на промисловому майданчику, $V=8\text{ м/с}$ (переріз $Y=10\text{ м}$)

Таблиця 1

Значення коефіцієнта HQ	
Швидкість повітряного потоку	HQ
8 м/с	1.09
6 м/с	1.33
4 м/с	1.72

Як можна бачити з табл. 1, захисна функція бар’єру, що має висоту 2 м, різко зменшується при зменшенні швидкості повітряного потоку.

Слід відзначити, що час розрахунку 5 с.

Висновки

1. Наведено результати аналітичного аналізу динаміки професійних захворювань працівників Центрального гірничо-збагачувального комбінату (ЦГЗК), м. Кривий Ріг.

2. Проведений аналіз показав, що значна частка професійних захворювань працівників

пов’язана з пиловим забрудненням робочих зон.

3. Побудовано чисельну модель прогнозу пилового забруднення робочих зон. Модель базується на інтегруванні тривимірного рівняння переносу зваженої домішки в повітрі.

4. Подальший розвиток даного напрямку буде проводитися шляхом розробки моделей масопереносу в умовах несприятливих метеоумов.

Список літератури

1. Біляєв М. М., Біляєва В. В., Берлов О. В., Козачина В. А. CFD-моделювання в аналізі ефективності систем захисту довкілля та працівників на робочих місцях: монографія. Дніпро : Журфонд, 2022. – 268 с.
2. Біляєв М. М., Козачина В. А., Кіриченко П. С., Біляєва В. В., Берлов О. В. Експериментальне та теоретичне моделювання процесів пилового забруднення. Polish journal of science, 2025, №89. С. 40-46.
3. Численное моделирование распространения загрязнения в окружающей среде/М. З. Згуровский, В. В. Скопецкий, В. К. Хрущ, Н. Н. Беляев. – К. : Наук.думка, 1997. – 368 с.
4. Alvarez J. T., Alvarez I. D.&Lougedo S. T. Dust barriers in open pit blasts. Multifase Computational Fluid Dynamics (CFD) simulations. WIT Transactions on Ecology and the Environment, Air Pollution XVI, Vol 116. 2008. P. 85-93.
5. Best Practices for Dust Control in Coal Mining. *Information Circular/* Jay F. Colinet et al, IC 9517, Department of Health and Human Services, Pittsburgh, PA, Spokane, WA, January 2010. 30 p.
6. Biliaiev M., Biliaieva V., Berlov O., Kozachyna V., Kirichenko P., Oladipo M.O., Poltoratska V. Modeling Coal Dust Dispersion from Pile with Protection Barriers. E3S Web of Conferences. Vol. 168: 2nd Intern. Conf. Essays of Mining Science and Practice, Dnipro, Ukraine, 22–24 April 2020. P. 1–6. DOI: 10.1051/e3sconf/202016800021.
7. Biliaiev, Mykola & Biliaieva, V & Kozachyna, Vitalii & Berlov, Oleksandr & Oladipo, Mutiu & Kirichenko, P. (2020). Reducing of coal dust release from train wagon with barrier. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 985. 012018. 10.1088/1757-899X/985/1/012018.
8. Ferreira AD, Viegas DX, Sousa ACM. Full-scale measurements for evaluation of coal dust release from train wagons with two different shelter covers. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. 91(10), P. 1271–1283
9. Ferreira, AD, Vaz P. A. Wind tunnel study of coal dust release from train wagons. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. 2004. 92. P. 565–577.
10. Kirk Winges, Richard Steffel. Coal Dust from Rail Transport. Ramboll Environ US Corporation, 19020 33rd Avenue, Suite 310, Lynnwood, Washington 98036, 425-412-1800, 14 p.
11. Reed W. R. Significant Dust Dispersion Models for Mining Operations. DHHS (NIOSH) Publication. 2005 – 138, Pittsburgh, PA, 2005. P. 24.