

Порівняння методів прогнозування якості руд у надрах

Вид моделі мінливості	Похибка оцінок (%), що отриманні методами					
	середньозваженого арифметичного	зі зважуванням назад пропорційно квадрату відстаней	зі зважуванням і обліком анізотропії	дискретний крайгінг	випадковий крайгінг	універсальний крайгінг
$C_{Fe_{\text{в}}} = C_T + C_K + C_C$	12,1	11,8	11,5	9,6	–	8,3
$C_{Fe_{\text{васк}}} = C_K + C_C$	18,1	18,2	18,1	16,4	–	16,4
$C_{Si} = C_C$	8,5	8,6	8,4	8,5	–	–
$C_{CO_2} = C_K + C_C$	17,6	–	–	–	15,9	–
$C_{Fe_{\text{вем}}} = C_C$	9,2	–	–	–	9,3	–

Примітка.  $C_T$  – закономірна складова (тренд);  $C_C$  – випадкова (некорельована) складова, яка характеризується деяким законом розподілу;  $C_K$  – випадкова (корельована) складова, що представляє собою реалізацію стаціонарної випадкової функції і характеризується автокореляційною (або структурною) функцією.

За умови випадкового розміщення ознаки обидва методи по точності оцінок дають фактично однакові результати. Запропонований у [6] індикаторний крайгінг є найбільш ефективним серед всіх методів (у тому числі і серед розглянутих геостатистичних) у процесі оцінки якісних показників блоків, складених рудами різних типів.

**Висновки та напрямок подальших досліджень.** Співставлення по точності результатів застосування традиційних і геостатистичних методів при оцінці якості руд у надрах суперечить теорії оптимального статистичного оцінювання і може бути пояснене тільки невдалим вибором моделі мінливості показників або окремих її параметрів. Детальний аналіз мінливості показників і конкретних умов оцінювання якості блоків повинен завжди передувати обґрунтованому вибору математичного методу прогнозування.

*Список літератури:*

1. Аврамов В. Е., Азбель Е. И., Ефремова Н. И. Планирование эксперимента и прогнозирование качества сырья на горных предприятиях. – Новосибирск: Наука, 1979.
2. Ершов В. В. Прогнозирование показателей при геолого-маркшейдерском управлении качеством руд.// Применение ЭВМ и математических методов в горном деле. Т. 2.– М.: Недра, 1982.– С. 95—100.
3. Марголин А. М. Оценка запасов минерального сырья. Математические методы. М.: Недра, 1974.
4. Матерон Ж. Основы прикладной геостатистики. М.: Мир, 1968.
5. Ушаков И. Н. Горная геометрия. М.: Недра, 1979.
6. Kwa B. L. Mousset — Jones P. F. Indicator approach to the mineral reserve estimation of a gold deposit in Nevada — In: 18 th Int. Symp. APCOM; London, 1984, p. 343—366.

Рукопис подано до редакції 16.01.12

УДК 533.6:622.4

О.М. ГОЛИШЕВ, д-р техн. наук, проф., О.В. ГЕРАСИМЧУК, канд. техн. наук, доц., Т.В. ДЕНЬГУБ, магістрант, «Криворізький національний університет»

## ПОРІВНЯННЯ АЕРОДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДРОСЕЛЮЮЧИХ ДІАФРАГМ АСПІРАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Проаналізовано конструктивні та аеродинамічні параметри дроселюючих діафрагм для усунення нев'язок тисків у відгалуженнях аспіраційних систем, запропоновано конструкції променевих діафрагм, що не змінюють своїх характеристик в пилоповітряних потоках.

**Проблема та її зв'язок з науковими і практичними задачами.** Аспіраційні системи, які забезпечують мінімально допустимий рівень забруднення повітря в промислових будівлях залізорудних комбінатів (ЗРК), гірничозбагачувальних комбінатів (ГЗК) тощо, мають складну схему розгалужень з безліччю окремих гілок. Ефективна робота аспіраційних систем неможлива без забезпечення їх аеродинамічної стійкості в процесі експлуатації. Це потребує використання дроселюючих засобів для усунення нев'язок тисків на відгалуженнях, які не змінювали б своїх аеродинамічних характеристик в пилоповітряних потоках через відкладення шарів пилу в місцях їх розташування або через абразивне зношення окремих елементів.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Одним із відомих засобів усунення нев'язок тиску на відгалуженнях є застосування менших діаметрів циліндричних трубопроводів, що спричиняє зростання швидкості повітря і, як наслідок, збільшення втрат тиску на подолання тертя на стінках трубопроводів і в місцевих опорах. Але через незначну довжину відгалуження трубопроводу, зростання швидкості вище оптимальної (16-20 м/с) можливе утворення нещільностей («свищів») через високу абразивність мінеральних часток пилу. Тому цей засіб не знайшов достатнього застосування.

**Постановка задачі.** У статті розглянуто питання застосування дроселюючих діафрагм для практичного використання з метою зміни тисків на відгалуженнях повітроводів аспіраційних систем.

**Викладення матеріалу і результати.** Найбільш поширеним засобом усунення нев'язок тиску в аспіраційних системах є застосування дроселюючих діафрагм [1]. Аналіз конструкцій відомих діафрагм дає можливість виявити таке.

Найбільш простими за конструкцією та ефективними за дроселюючою здатністю є діафрагми у вигляді поперечної перегородки з центральним отвором. Такі діафрагми використовуються в коробчатих та циліндричних трубопроводах вентиляційних систем. Їх застосування можливе і в аспіраційних системах при умові усунення відкладення пилу (наприклад, після першої стадії очищення повітря від грубих фракцій). Коефіцієнт  $\zeta$  місцевого опору таких діафрагм підпорядкований залежності [2]

$$\zeta = [(n\varepsilon)^{-1} - 1] = ((\pi + 2(1 - n^2)^{0,5})(n\pi)^{-1} - 1)^2, \quad (1)$$

де  $n$  – ступінь стиснення течії в отворі діафрагми;  $\varepsilon$  - коефіцієнт стиснення струменя після виходу з отвору

$$\varepsilon = \pi(\pi + 2(1 - n^2)^{0,5}), \quad (2)$$

Необхідна площа  $\omega_n$  отвору діафрагми обумовлюється значенням коефіцієнта місцевого опору  $\zeta$ , який визначається величиною нев'язки тисків  $\Delta p$  (Па)

$$\zeta = 2\Delta p(\rho v^2)^{-1}, \quad (3)$$

де  $\rho$  – густина повітря, кг/м<sup>3</sup>;  $v$  – середня швидкість повітря в трубопроводі, м/с.

На основі значень коефіцієнта  $\zeta$  та живого перерізу трубопроводу площею  $\omega$  розраховується площа центрального отвору, геометрично подібного з формою перерізу трубопроводу:

$$\omega = \omega(0,85 + 0,58\zeta^{0,5})^{-1}, \quad (4)$$

Для циліндричних труб діаметр отвору  $D_0$  діафрагми обчислюється за формулою:

$$D_0 = D_y(0,85 + 0,58\zeta^{0,5})^{-0,5}, \quad (5)$$

де  $D_y$  - умовний (внутрішній) діаметр трубопроводу.

Для аспіраційних трубопроводів, якими транспортуються значні масові витрати пилу (від 5 г/м<sup>3</sup> і вище), рекомендовані конусні діафрагми з вершинним кутом  $2\alpha$  розкриття конусів і висотами  $h$ , які з'єднуються між собою вузькою частиною конусів [1]

$$h = (D_y - D_0)(2\tg\alpha)^{-1}, \quad (6)$$

Діаметри більшої основи конусів дорівнюють умовному діаметру трубопроводу  $D_y$ , а діаметри меншої частини конусів (вузької частини діафрагми)  $D_0$  визначаються на основі ступеня стиснення  $n$  повітряного потоку

$$D_0 = (n)^{0,5}D_y, \quad (7)$$

Отже, висоти конусів будуть складати

$$h = (0,5D_y(1 - \sqrt{n}))/\tg\alpha \quad (8)$$

а довжини твірних  $l$

$$l = (0,5D_y(1 - \sqrt{n}))/\sin\alpha \quad (9)$$

При значеннях кута  $\alpha = 90^\circ$  конусні діафрагми трансформуються в діафрагми з круглим отвором діаметром  $D_0$ .

У довідковій літературі наведені графічні залежності коефіцієнта місцевого опору  $\zeta$  конусної діафрагми від ступеня стиснення потоку  $n = (D_0/D_y)^2$  і кута  $\alpha = 20^\circ$  та  $\alpha = 30^\circ$ . Для зручності обчислень авторами здійснена обробка графічних даних і отримана емпірична залежність  $\zeta(\alpha, n)$

$$\zeta(\alpha, n) = (51,61 - 0,97\alpha) \exp[(0,14\alpha - 9,53)n] \quad (9)$$

Результати обчислень  $\zeta(\alpha, n)$  та графічні дані наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Порівняння графічних  $\zeta_r$  та емпіричних  $\zeta_e$  результатів значень коефіцієнта місцевого опору для конусної, круглої та променевої діафрагм

Параметр	Значення параметра									
	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85
Конусна діафрагма										
$\zeta_e(15^\circ)$	1,91	1,32	0,91	0,63	0,43	0,30	0,21	0,14	0,10	0,07
$\zeta_r(20^\circ)$	<u>2,20</u>	<u>1,57</u>	<u>1,12</u>	<u>0,80</u>	<u>0,57</u>	<u>0,41</u>	<u>0,29</u>	<u>0,21</u>	<u>0,15</u>	<u>0,11</u>
$\zeta_e(20^\circ)$	<u>2,20</u>	<u>1,60</u>	<u>1,15</u>	<u>0,85</u>	<u>0,60</u>	<u>0,45</u>	<u>0,30</u>	<u>0,25</u>	<u>0,15</u>	—
$\zeta_e(25^\circ)$	2,48	1,84	1,36	1,00	0,75	0,55	0,41	0,30	0,22	0,17
$\zeta_r(30^\circ)$	<u>2,70</u>	<u>2,07</u>	<u>1,59</u>	<u>1,22</u>	<u>0,94</u>	<u>0,72</u>	<u>0,55</u>	<u>0,42</u>	<u>0,32</u>	<u>0,23</u>
$\zeta_e(30^\circ)$	<u>2,70</u>	<u>1,95</u>	<u>1,60</u>	<u>1,25</u>	<u>0,95</u>	<u>0,75</u>	<u>0,55</u>	<u>0,45</u>	<u>0,26</u>	—
$\zeta_e(35^\circ)$	2,81	2,23	1,77	1,41	1,11	0,89	0,71	0,56	0,44	0,35
Кругла діафрагма $\alpha = 90^\circ$										
$\zeta_{\text{фор}}(1)$	8,75	6,18	4,42	3,16	2,33	1,64	1,16	0,82	0,52	0,32
Променева діафрагма										
$\zeta_{\text{фор}}(9)$	6,89	4,94	3,61	2,68	2,00	1,51	1,15	0,87	0,66	-
$\zeta_{\text{фор}}(10)$	7,16	5,13	3,76	2,80	2,10	1,59	1,21	0,92	-	-

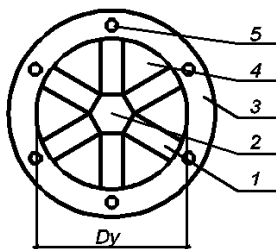
\*Примітка: у чисельнику наведені емпіричні значення  $\zeta_e(\phi(9))$ , у знаменнику – графічні значення  $\zeta_r$  [1] коефіцієнта місцевого опору конусних діафрагм.

Аналіз даних, що розміщені в рядках 3\* та 5\* табл. 1, показує їх майже ідентичну збіжність. Це дозволяє розширити інтервал розкриття конусних діафрагм від значень  $\alpha_{\text{min}} = 15^\circ$  до  $\alpha_{\text{max}} = 35^\circ$ , і в цьому проміжку кути  $\alpha$  можуть приймати довільні значення.

Оцінюючи параметр  $\zeta$  конусних діафрагм та їх конструкції, слід відзначити наступне. Навіть при значних ступенях стиснення потоку  $n=0,40-0,45$  конусні діафрагми мають низьку дроселюючу властивість  $\zeta_{\text{max}} = 2,81 + 2,23$ . При цьому внаслідок значного звуження конусів збільшується швидкість пилоповітряних потоків, можливе абразивне зношення стінок конусів, що призводить до утворення небажаних нещільностей. Крім цього, конструкція конусної діафрагми потребує детальних геометричних розрахунків і в практичному їх виготовленні операцій криволінійних вирізок металу та його згинання.

Найбільшу дроселюючу здатність мають круглі діафрагми (див. рядок 7 табл. 1). Але через відкладення пилу біля центральної перегородки (до центрального отвору або за ним) центральна діафрагма за своєю сутністю може наблизитися до конусної діафрагми і значно погіршувати свою дроселюючу здатність.

У зв'язку з цим автори запропонували конусні діафрагми замінити променевими, на конструкцію яких отримано патенти на корисну модель [2]. На рис. 1 наведено принципову схему променевої діафрагми, яка є змінним варіантом круглої діафрагми.



**Рис. 1.** Принципова схема шестипроменевої діафрагми: 1 – радіальний промінь; 2 – центральний отвір; 3 – зовнішнє пласке кільце; 4 – периферійний отвір; 5 – отвір для гвинта кріплення

Суцільне кільце круглої діафрагми замінено радіальними променями 1, яких може бути в кількості шести, чотирьох або трьох. Промені в центральній частині з'єднуються між собою і створюють центральний отвір 2 у вигляді правильного багатокутника зі стороною, що дорівнює ширині променя 1. Іншими кінцями промені 1 закріплюються до зовнішнього плаского кільця 3, рівного за розмірами фланцям, виконаним на трубопроводі відгалуження аспіраційної системи. Сусідні промені 1 утворюють периферійні отвори 4. Промені 1 можуть бути виготовлені з рівнополічних кутиків, які розташовуються розкритою стороною назустріч пилоповітряному потоку, або з пласких пластин. Променева діафрагма монтується між фланцями трубопроводу з еластичними прокладками і скріплюється гвинтами, що проходять через

отвори 5. Відношення «живого» перерізу діафрагми до площі трубопроводу позначалося параметром  $n$  (ступінь стиснення потоку в діафрагмі).

Аеродинамічні дослідження залежності коефіцієнта місцевого опору діафрагми  $\zeta$  від параметра  $n$  показали наступне [3]. Для трьох -, чотирьох - та шестипроменевих діафрагм визначальним чинником, що впливає на значення  $\zeta$  є відношення  $n$  площ «живих» перерізів та характер розташування кутиків. Якщо кутики розташовані розкритою стороною назустріч потоку (вістря за напрямком потоку), то коефіцієнт місцевого опору діафрагми характеризується залежністю

$$\zeta = [(1,45/n) - 1]^2, -n \leq 0,8, \quad (9)$$

при заміні кутиків плоскими пластинами

$$\zeta = [(1,47/n) - 1]^2, -n \leq 0,75, \quad (10)$$

Порівняння значень коефіцієнтів місцевого опору променевих діафрагм (див. рядки 9 та 10 табл. 1) з конусними (рядки 2 – 6 табл. 1) та круглими (рядок 7 табл. 1) показує наступне. Променеві діафрагми за своєю дроселюючою здатністю наближаються до круглих діафрагм, але через наявність у них периферійних отворів 4 (див. рис. 1) вони позбавлені здатності відкладання пилу і зміни своєї аеродинамічної характеристики  $\zeta$ . У порівнянні з конусними діафрагмами променеві діафрагми при однакових значеннях відносних площ  $n$  мають у 2 - 3 рази більші значення параметра  $\zeta$ . Крім цього, вони простіші за технологією їх виготовлення.

**Отже**, виконані дослідження дозволили на основі залежності коефіцієнтів місцевого опору діафрагм від їх конструкції та відношення площ отворів виявити таке:

конусні діафрагми навіть при значних кутах розкриття ( $2\alpha = 70^\circ$ ) мають низьку дроселюючу здатність, а при невеликих відносних площах  $n$  унаслідок збільшення швидкості абразивних пилоповітряних потоків у них виникає утворення нещільностей;

оптимальними для практичного використання з метою дроселювання тисків на відгалуженнях аспіраційних систем є променеві діафрагми, у яких рівнополичні кутики променів направлені своїми вістря за вектором швидкості аспіраційного повітря.

#### Список літератури

1. Справочник по проектированию рудных обогатительных фабрик: в 2 кн./ Редкол.: **О.Н. Тихонов** и др. – М.: Недра, 1988 – Кн. 2/ **Г.И. Адамов, В.Ф. Баранов, Б.П. Бутусов** и др. – 341 с.: ил.
2. **Деньгуб Т.В.** Исследование дроселирующего свойства лучевой диафрагмы в аспирационном воздуховоде. Разработка рудных месторождений// Научно-технический сборник КТУ.- Вып. №92.- Кривой Рог, 2008 г.-С. 247 – 251.
3. Патент на корисну модель №35748 МПК E21F5/00. Променева діафрагма. Авт. **Голишев О.М., Деньгуб Т.В., Шаповалов В.А.** Опубл. 10.10.2008, бюл. №19.

Рукопис подано до редакції 12.02.12

УДК 622.413.3

А.А. ЛАПШИН, ГВУЗ «Криворожский национальный университет»

### МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОХЛАЖДЕНИЯ ВОЗДУХА ФОРСУНОЧНЫМ ОРОШЕНИЕМ

Приведено теоретические обоснование эффективности охлаждения воздуха форсуночным орошением. В результате математического моделирования получены зависимости для определения параметров процесса охлаждения воздуха форсуночным орошением.

**Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.** Ведение горных работ в современных лшахтах на больших глубинах усложняется повышением температуры воздуха в горных выработках. Создание благоприятных условий труда путем охлаждения воздуха доступными и экономичными способами является актуальной теоретической и практической задачей.

В глубоких рудных шахтах, аналогично с угольными, происходят сложные теплообменные, диффузионные и термодинамические процессы, которые обуславливают изменение параметров рудничного воздуха при его движении в воздухопроводных выработках [1].

Создание установок для кондиционирования рудничного воздуха требует точных методов расчета параметров воздуха, обеспечивающих нормализацию микроклимата в горных выработках шахт.