

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД  
«НАЦІОНАЛЬНИЙ ГІРНИЧИЙ УНІВЕРСИТЕТ»

**Євстратенко Лілія Ігорівна**

УДК 622.82:622.454.2

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВЕНТИЛЯЦІЇ РУДНИКІВ  
КРИВБАСУ З АЕРОАКТИВНИМИ ЗОНАМИ ОБВАЛЕННЯ**

Спеціальність 05.26.01 – Охорона праці

Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Дніпропетровськ - 2015

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі рудникової аерології та охорони праці Державного вищого навчального закладу «Криворізький національний університет» Міністерства освіти і науки України

**Науковий керівник:** кандидат технічних наук, доцент  
**ОШМЯНСЬКИЙ Ігор Броніславович,**  
доцент кафедри рудникової аерології та охорони праці Державного ВНЗ «Криворізький національний університет» Міністерства освіти і науки України.

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, старший науковий співробітник  
**БУНЬКО Тетяна Вікторівна,**  
старший науковий співробітник відділу проблем розробки родовищ на великих глибинах Інституту геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України (м. Дніпропетровськ);

кандидат технічних наук, доцент  
**ЛЕБЕДЄВ Яків Якович,**  
доцент кафедри аерології та охорони праці Державного ВНЗ «Національний гірничий університет» Міністерства освіти і науки України (м. Дніпропетровськ).

Захист дисертації відбудеться " \_\_ " \_\_\_\_\_ 2016 р. о \_\_ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.080.07 при Державному ВНЗ «Національний гірничий університет» (м. Дніпропетровськ) Міністерства освіти і науки України за адресою: 49005, м. Дніпропетровськ, пр. К.Маркса, 19.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Державного ВНЗ «Національний гірничий університет» Міністерства освіти і науки України за адресою: 49005, м. Дніпропетровськ, пр. К.Маркса, 19.

Автореферат розісланий " \_\_ " \_\_\_\_\_ 2015 р.

Вчений секретар спеціалізованої  
вченої ради Д 08.080.07,  
к.т.н., доцент

О.В. Остапчук

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Сучасні залізорудні шахти України, що відпрацьовують потужні рудні поклади, характеризуються високою інтенсивністю та концентрацією гірничих робіт. Застосування високопродуктивних систем розробки з обваленням руди і покриваючих порід при видобуванні корисних копалин з найпотужніших родовищ часто призводить до утворення зон обвалення, які характеризуються високою газопроникністю, що призводить до аеродинамічного зв'язку гірничих виробок з поверхнею.

Утворення аеродинамічного зв'язку гірничих виробок із земною поверхнею через зону обвалення, істотно впливає на вентиляційну систему. Витоки або притоки рудникового повітря через зони обвалень призводять до зменшення кількості свіжого повітря, яке доходить до вибоїв і порушують планований повітрообмін в підземних гірничих ділянках, блоках, камерах і окремих вибоях. Крім того, аналіз випадків і причин проникнення шкідливих газів в підземні виробки, виконаний багатьма дослідниками, свідчить про те, що однією з причин їх проникнення в шахту є наявність активного аеродинамічного зв'язку гірничих виробок з поверхнею через зону обвалення. При цьому концентрація шкідливих газів у підземних виробках може тривалий час перевищувати гранично допустимі значення.

Вивченню явищ, пов'язаних з фільтраційними процесами, що протікають в пористих середовищах зон обвалення, присвячена значна кількість досліджень. Однак, дотепер в недостатній мірі встановлені аеродинамічні параметри пористого середовища зон обвалення, що не дозволяє прогнозувати величину витоків повітря та вплив аеродинамічно активних обвалень на систему вентиляції рудників. Це часто призводить до неефективної роботи шахтних вентиляційних систем і недостатньої забезпеченості робочих місць свіжим повітрям.

У зв'язку з викладеним, **наукова задача** дисертаційної роботи полягає у встановленні закономірностей процесів фільтрації повітря через аеродинамічно активні зони обвалення рудників Кривбасу та розробці на їх основі заходів, спрямованих на підвищення ефективності провітрювання гірничих виробок залізорудних шахт.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дослідження за темою дисертації виконані відповідно до Державної цільової програми поліпшення стану безпеки та гігієни праці на 2012-2016 роки (постанова Кабінету Міністрів України №889-р від 31.08.2011 р.) і планами науково-дослідних робіт Криворізького національного університету за темою "Розробка керівництва з дистанційного відбору проб повітря при проведенні гірничих виробок" (№ держреєстрації 0114U003899), де автор був виконавцем.

**Мета та завдання досліджень.** Основна мета досліджень полягає у підвищенні ефективності провітрювання залізорудних шахт шляхом встановлення закономірностей процесів фільтрації повітря через аеродинамічно активні зони обвалення рудників.

Для досягнення мети поставлено наступні завдання:

- виконати аналіз причин недостатньої ефективності провітрювання шахт Кривбасу;
- встановити фактори що впливають на характер протікання фільтраційних процесів у зонах обвалень;
- дослідити процеси взаємодії фільтраційних потоків з поровим простором гірських порід і визначити основні аеродинамічні параметри зон обвалення рудників Кривбасу;
- встановити вплив на зміну режимів фільтрації газів гранулометричного складу і властивостей пористого середовища;
- розробити способи і засоби керування фільтраційними процесами що протікають в аеродинамічно активних зонах обвалення.

**Об'єкт дослідження** – аеродинамічно активні зони обвалення залізорудних шахт Кривбасу.

**Предмет досліджень** – процеси фільтрації повітря в аеродинамічно активних зонах обвалення.

**Методи дослідження.** Для досягнення поставлених завдань у роботі використані аналітичний і експериментальний методи - для дослідження фільтраційних процесів, які протікають в обвалених зонах; методи математичного моделювання - для розробки моделей процесу фільтрації повітря в аеродинамічно активних зонах обвалення гірських порід; методи фізичного моделювання - для дослідження фільтраційних характеристик пористого середовища обвалених зон на моделі; методи математичної статистики – при обробці експериментальних результатів та оцінці достовірності отриманих математичних моделей; дослідно-промислова апробація - для перевірки розроблених способів і засобів управління фільтраційними процесами, що протікають в аеродинамічно активних зонах обвалення.

**Наукові положення, що виносяться на захист:**

1. Основною причиною зміни опору пористого середовища аеродинамічно активної зони обвалення є фільтрація через поверхневий шар зони обвалення води атмосферних опадів зі зваженими в ній дрібними частинками, які, проникаючи в поровий простір більш крупної гірської породи, викликають процес кольтатації пористого середовища.

2. Залежність аеродинамічного опору пористого середовища зони обвалення від його вологості носить нелінійний екстремальний характер, при чому, зволоження пористого середовища до 3% призводить до зниження опору, що пов'язано зі зміною значення коефіцієнта тертя повітря об поверхню частинок породи, а при подальшому збільшенні вологості опір зростає, що пояснюється перекриттям частини порових каналів водою або їх звуженням.

**Наукова новизна отриманих результатів:**

1. Вперше встановлено закономірності зміни аеродинамічного опору пористого середовища аеродинамічно активної зони обвалення в залежності від вологості викликані атмосферними опадами і фільтрацією води з вмістом дрібних зважених в ній частинок через поверхневий шар зони обвалення.

2. Вперше отримано кількісні характеристики процесу фільтрації газу через пористе середовище з урахуванням впливу літологічного складу гірських порід на проникність аеродинамічно активних зон обвалення і режими фільтрації повітря в них, які дозволяють прогнозувати основні аеродинамічні параметри зони обвалення.

3. Встановлені залежності параметра турбулентності фільтраційного потоку від фізичних властивостей гірських порід, що дозволяють з достатньою точністю визначати проникність пористого середовища зони обвалення при фільтрації повітря через неї з відхиленням від лінійного закону руху.

4. Удосконалено математичну модель формалізованого опису процесу фільтрації повітря в аеродинамічно активних зонах обвалення гірських порід, яка на відміну від відомих враховує вплив сорбційної здатності гірських порід на перенесення фільтраційними витоками повітря шкідливих газоподібних домішок в зоні обвалення.

4. Отримали подальший розвиток методичні підходи до визначення режиму руху повітря у вентиляційних системах рудників з урахуванням зміни основних аеродинамічних параметрів зони обвалення, що дозволяє уточнювати закон опору в мережі, більш надійно визначати характеристики мереж рудників, режими роботи вентиляторів головного провітрювання (ВГП) та показники ефективності їх експлуатації.

#### **Практичне значення роботи:**

1. Розроблено методику визначення загального показника режиму руху повітря у вентиляційних системах рудників, що дозволяє враховувати процес фільтрації повітря через зону обвалення і значно підвищити достовірність та надійність проектних вентиляційних параметрів за рахунок врахування впливу аеродинамічних параметрів зони обвалення, як однієї з гілок вентиляційних мереж рудників з аеродинамічно активними обваленнями.

2. Розроблено спосіб зниження інтенсивності процесу фільтрації повітря в зоні обвалення, що забезпечується створенням «нульової» зони перепаду тисків між гірничими виробками і поверхнею за рахунок визначення режимів роботи ВГП, при яких забезпеченість свіжим повітрям підземних споживачів буде найбільш близька до розрахункової.

Результати дисертаційної роботи впроваджені при розробці “Керівництва з комплексного обстеження вентиляції шахт, інших підземних об’єктів і підвищенню ефективності провітрювання ” (НАОП-2014).

**Особистий внесок здобувача** полягає у формулюванні мети і постановці задач досліджень, аналізі причин незадовільного провітрювання гірничих виробок, що примикають до заваленої зони, в дослідженні фільтраційних процесів на моделях, в розробці нових способів і засобів керування процесом фільтрації в аеродинамічно активних завалених зонах.

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення дисертаційної роботи доповідалися на міжнародних конференціях "Сучасні технології і екологічна безпека використання гранульованих і емульсійних вибухових речовин" (м. Свалява – Кременчук, 2015 р.) і "Форум гірників" (м. Дніпропетровськ,

2012 р.), на III Всеукраїнській науково-технічній конференції студентів, аспірантів та молодих вчених "Наукова весна – 2012" (м. Дніпропетровськ, 2012 р.) та технічній нараді при головному інженері ПАТ "КЗРК" (м. Кривий Ріг, 2014 р.).

**Публікації.** За матеріалами досліджень опубліковано 13 друкованих робіт (з них: 2 - монографії, 5 - статті у фахових виданнях, 2 статті у міжнародних виданнях, що входять до міжнародних науково-метричних баз, 3 статті - матеріали і тези доповідей на конференціях, 1 нормативний акт з охорони праці).

**Структура й обсяг дисертації.** Дисертація складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, переліку літературних джерел із 112 найменувань на 12 сторінках, 2 додатків на 3 сторінках. Загальний обсяг дисертації – 168 сторінок, з яких: основний текст - 145 сторінок, рисунків - 26, таблиць - 9.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

**У вступі** обґрунтована актуальність досліджень, сформульовані мета і завдання досліджень, приведені основні наукові положення та результати, винесені на захист, а також відомості про практичне значення та впровадження результатів роботи, наведені відомості про їх публікацію та особистий внесок здобувача, апробацію та впровадження результатів дисертаційної роботи.

**У першому розділі** виконаний аналіз зон обвалень, викликаних технологічними процесами ведення гірничих робіт, стану провітрювання рудників Кривбасу, а також результатів досліджень режимів фільтрації повітря через зони обвалення.

Аналіз показав, що при проведенні технологічних робіт з видобутку руди на рудниках Кривбасу підземним способом із застосуванням камерних систем розробки утворюються порожнечі значних об'ємів, які відокремлені від денної поверхні ціликами або потолочинами, стійкість яких від обвалення визначається розрахунковим шляхом або на підставі досвіду експлуатації рудників. Проте, як розрахунки так і досвід експлуатації, не дозволяють з високою точністю і надійністю спрогнозувати цю стійкість, а інтенсифікація видобутку корисних копалин неминуче призводить до збільшення масштабів утворення підземних порожнеч і потенційних зон обвалення.

Внаслідок обвалень утворюються різного типу аеродинамічно активні зони (залежно від систем розробки і властивостей гірських порід масиву), які істотно впливають на ефективність роботи вентиляційних систем і стан атмосфери гірничих виробок шахт. Цей вплив зумовлений виникненням фільтраційних потоків повітря в пористих середовищах зон обвалень. Так 13 червня 2010 року на шахті імені Орджонікідзе ВАТ «ЦГОК» при виконанні планових вибухових робіт відбулося обвалення ґрунту на території (по поверхні) площею 16 га, завглибшки 10-80 м. В результаті аварії в зону обвалення потрапив ствол шахти "Червона". Ствол і головна вентиляційна установка були виведені з ладу, що спричинило перехід провітрювання шахти на аварійний режим вентиляції, який характеризується низькою ефективністю і надійністю.

Вивченню процесів фільтрації повітря через пористе середовище завалених просторів гірських порід присвячені роботи К.В. Кочнева, В.П. Куликова, О.С. Гершуна, А.Ф. Мілетіча, С.І. Луговського, В.А. Ярцева, І.Б. Ошмянського, О.Є. Лапшина, С.К. Савенко, Е.Р. Морозова, Т.В. Бунько, В.І. Бережного та ін. Автори їх проводили дослідження з визначення режиму руху повітря через грудкуватий матеріал дрібних фракцій, аеродинамічного опору зруйнованої гірської маси, закону втрати напору при русі повітря через зону обвалення покриваючих порід і розробці прийомів керування вентиляцією.

Проведені дослідження аеродинамічних параметрів обвалень свідчать про те, що більша частина їх базується на використанні двочленного закону опору, в який вводяться геометричні характеристики грудкуватого середовища. Однак наявність широкого діапазону фракційного складу порід у зонах обвалень рудників і відсутність достатньо ефективних методів його врахування призводить до значних похибок при розрахунках величин аеродинамічного опору пористого середовища зон обвалень і фільтраційних потоків, що призводить до неефективної роботи шахтних вентиляційних систем.

За результатами аналізу сформульовані задачі дослідження, вирішення яких, дозволяє досягти мети дисертації.

**У другому розділі** приведені результати теоретичних досліджень процесу фільтрації повітря в аероактивних зонах обвалення рудників Кривбасу.

Для з'ясування причин, що впливають на параметри фільтрації, обґрунтована фізична модель фільтраційних течій в пористих середовищах зон обвалення, що дозволяє забезпечити адекватний математичний опис процесу міграції флюїдів у заваленому масиві гірських порід, відповідно до якої прийнято, що рух фільтраційних потоків через обваленні зони відбувається за плоско-паралельною і плоскорадіальною схемами течії (рис. 1).

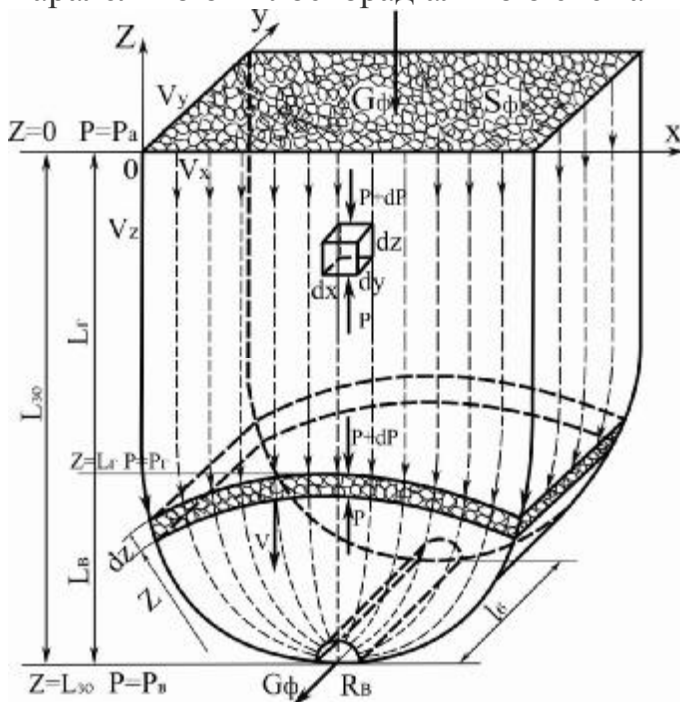


Рисунок 1 – Фізична модель фільтрації повітря через пористе середовище зони обвалення:  $L_{3.0.}$ ,  $L_2$  і  $L_6$  – відповідно, товщина обвалених порід зони обвалення, від межі зсуву до поверхні з прямолінійно-паралельною схемою течії повітря, від рівня вентиляційного горизонту до кордону зсуву з плоско-радіальною схемою течії повітря, м;  $R_6$  – радіус виробки, що примикає до зони обвалення, м;  $P_2$  – тиск на рівні вентиляційного горизонту, Па;  $P_a$  – тиск на поверхні, Па;  $P_6$  – тиск в виробці, яка примикає до зони обвалення, Па.

На підставі фізичної моделі фільтрації і з урахуванням того, що рух повітря через зони обвалення, які представляють собою пористі середовища різного

типу (гранулярні, тріщинуваті і змішані) пов'язано тим, що навіть при незначних перепадах тиску і дебетах спостерігається помітна дія як сил в'язкості, так і інерційних сил, отримано рівняння фільтраційного руху для прямолінійно-паралельного (1) і плоскорадіального (2) потоків, що враховують як проникність гірських порід при ламінарному режимі фільтрації  $K$ , так і турбулентну проникність  $K_T$  пористого середовища зони обвалення за умови квадратичного режиму фільтрації і прояву інерційних сил

$$dP_{III} = \left( \frac{\mu Q_\phi}{S_\phi K} + \frac{Q_\phi^2}{S_\phi^2 K_T} - \frac{0,003 \cdot \gamma_0 P_a K_{II}}{T} \right) dl, \quad (1)$$

$$dP_{II} = \left( \frac{\mu Q_\phi}{\pi r l_\phi K} + \frac{Q_\phi^2}{\pi^2 r^2 l_\phi^2 K_T} - \frac{0,003 \cdot \gamma_0 P_a K_{II}}{T} \right) dr, \quad (2)$$

де  $\mu$  – динамічна в'язкість, Па·с;  $Q_\phi$  – витрата повітря при його фільтрації, м<sup>3</sup>/с;  $S_\phi$  – площа фільтрації на ділянці прямолінійно-паралельного потоку, м<sup>2</sup>;  $\gamma_0$  – питома вага повітря при нормальних умовах, Н/м<sup>3</sup>;  $K_{II}$  – коефіцієнт пористості гірських порід;  $T$  – абсолютна температура повітря, К;  $l_\phi$ ,  $r$  – відповідно довжина і радіус виробки, яка примикає до обваленої зони, м.

Початковими і граничними умовами для ділянки прямолінійно-паралельного потоку у разі стаціонарного руху повітря з постійною густиною ( $\nu_\phi = const$  і  $\gamma_{сер} = const$ ) є:

$$\text{при } t = 0, Z = 0, P(0) = P_a, \text{ при } Z = L_z, P(L) = P_z,$$

де  $t$  – температура повітря, °С;  $P$  – тиск повітря, Па;  $Z$  – вісь координат.

Для ділянки з плоскорадіальним потоком

$$P(r = L_\phi) = P_z, P(R = R_\phi) = P_\phi$$

де  $r$  – радіус півсфери площі фільтрації щодо осі виробки, яка прилягає знизу до обваленого простору

В результаті вирішення рівнянь (1) і (2) отримано загальне рівняння фільтрації через обвалення рудників

$$h_{з.о.} = \frac{\mu Q_\phi}{K} \left( \frac{L_z}{S_\phi} + \frac{\ln \frac{L_\phi}{R_\phi}}{\pi l_\phi} \right) + \frac{0,003 \cdot \gamma_0 P_a Q_\phi^2 \text{sign}(Q_\phi)}{g K_T T} \left( \frac{L_z}{S_\phi^2} + \frac{1}{\pi^2 l_\phi^2 R_\phi} \right). \quad (3)$$

Виходячи з рівняння (3) отримано вираз для визначення величини фільтраційних витоків повітря через обвалення при комбінованому режимі руху повітря у вигляді

$$Q_\phi = \frac{6 \cdot 10^{-6} \cdot K_T \mu g T \left[ \frac{L_z}{S_\phi} + \frac{\ln(L_\phi / R_\phi)}{\pi l_\phi} \right]}{K \gamma_0 P_a \left( \frac{L_z}{S_\phi^2} + \frac{1}{\pi^2 l_\phi^2 R_\phi} \right)} \left\{ 1 + \frac{0,012 \cdot K^2 \gamma_0 P_a h_{з.о.} \left( \frac{L_z}{S_\phi^2} + \frac{1}{\pi^2 l_\phi^2 R_\phi} \right)^{0,5}}{K_T \mu^2 g \left( \frac{L_z}{S_\phi} + \frac{\ln(L_\phi / R_\phi)}{\pi l_\phi} \right)} \right\}^{-1}. \quad (4)$$



Вирази (1) – (4) отримані для одного окремого обвалення і при наявності однієї виробки, яка примикає до обвалення. При наявності на руднику окремих, аеродинамічно не пов'язаних між собою обвалень, параметри для кожного з них  $L_T$ ,  $S_\phi$ ,  $K$ ,  $K_T$ ,  $l_\phi$ ,  $\mu$ ,  $R_\phi$  повинні прийматися окремо. У тих випадках, коли на руднику в межах кожного вентиляційної ділянки є великі аеродинамічно активні обвалення з великим числом старих виробок, що не використовуються, при розрахунках за формулами (3) і (4) необхідно використовувати середні значення їх аеродинамічних параметрів ( $L_T$ ,  $K$ ,  $K_T$ ,  $\mu$ ), загальну величину  $S_\phi$ , загальну довжину всіх виробок  $l_\phi$  при середній величині  $R_\phi$ . У цьому випадку при певній середній величині  $h_{30}$  для всієї вентиляційної ділянки, за виразом (4) обчислюється загальна фільтраційна витрата витоків повітря через обвалення.

Надійність розрахованих за пропонованими виразами величин  $Q_\phi$ ,  $h_{30}$ , визначається достовірністю вихідних аеродинамічних параметрів, таких як коефіцієнт проникності  $K$ , коефіцієнт турбулентної проникності  $K_T$ , які повинні визначатися експериментальним шляхом.

**Третій розділ присвячений** експериментальним дослідженням режимів фільтрації газів в пористому середовищі зон обвалення.

Для перевірки справедливості отриманих математичних моделей і визначення числових значень їхніх параметрів були проведені дослідження в лабораторних і натурних умовах.

Лабораторні дослідження проводилися за загальноприйнятою методикою на установці, яка моделює пористе середовище (рис. 2).

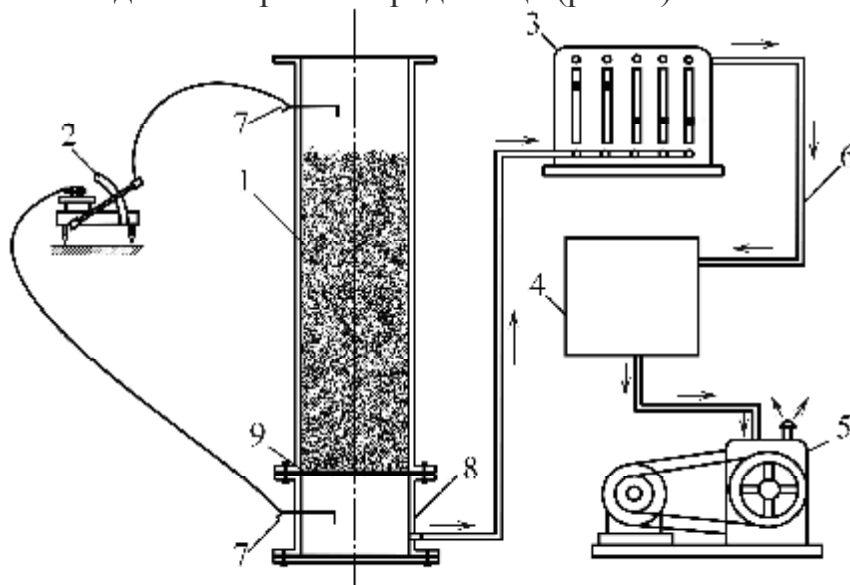


Рисунок 2 – Схема установки для експериментальних досліджень: модель пористого середовища 1, мікроманометр 2, ротаметри з регулюючими вентилями 3, камера для вирівнювання величини розрідження 4, вакуум-насос 5, повітропровід 6, трубки Піто 7, компенсаційна камера 8, решітка 9.

В основу експериментальних досліджень покладено динамічний метод, заснований на вимірі кількості повітря  $Q_\phi$ , що протікає через установку і перепаду тиску між двома точками  $\Delta P$  (початковий і кінцевий ділянки циліндричної частини установки заправленої частками гірської породи). При цьому визнача-

лися наступні характеристики процесу фільтрації: швидкість повітря  $v$ , коефіцієнт проникності гірських порід  $K$ , коефіцієнт турбулентної проникності  $K_T$ , коефіцієнт пористості  $K_{п}$ , середній діаметр пор  $d_{cp}$ , число Рейнольдса  $Re$ , показник режиму фільтрації  $n$ , і опір пористого середовища  $f$ . Заміри параметрів проводилися в наступних умовах: площа фільтрації –  $F = 0,07065 \text{ м}^2$ ; товщина шару –  $L = 0,8 \text{ м}$ ; температура повітря –  $t = 20^\circ \text{C}$ ; тиск повітря  $p = 101,2 \text{ кПа}$ ; густина повітря  $\rho = 1,22 \text{ кг/м}^3$ ; в'язкість повітря –  $\mu = 18,1 \cdot 10^{-6} \text{ Н}\cdot\text{с/м}^2$ .

На підставі вимірів отримані аеродинамічні характеристики пористих середовищ з різним гранулометричним складом, що представляють собою графіки залежності  $\Delta P$  від  $Q$ .

На підставі залежностей (рис. 3) отримані регресійні рівняння для різних класів крупності гірських порід:

$$\begin{array}{ll}
 -45 + 30 \text{ мм} & \Delta P = 849494Q^{1,99} \\
 -20 + 10 \text{ мм} & \Delta P = 24825650Q^{1,7} \\
 -8 + 6 \text{ мм} & \Delta P = 38439Q^{1,3} \\
 -3 + 1 \text{ мм} & \Delta P = 28309Q^{1,15} \\
 -30 + 20 \text{ мм} & \Delta P = 689350Q^{1,93} \\
 -10 + 8 \text{ мм} & \Delta P = 39351Q^{1,34} \\
 -6 + 3 \text{ мм} & \Delta P = 39750Q^{1,27} \\
 -1 + 0,5 \text{ мм} & \Delta P = 34395Q^{1,13}
 \end{array} \quad (5)$$

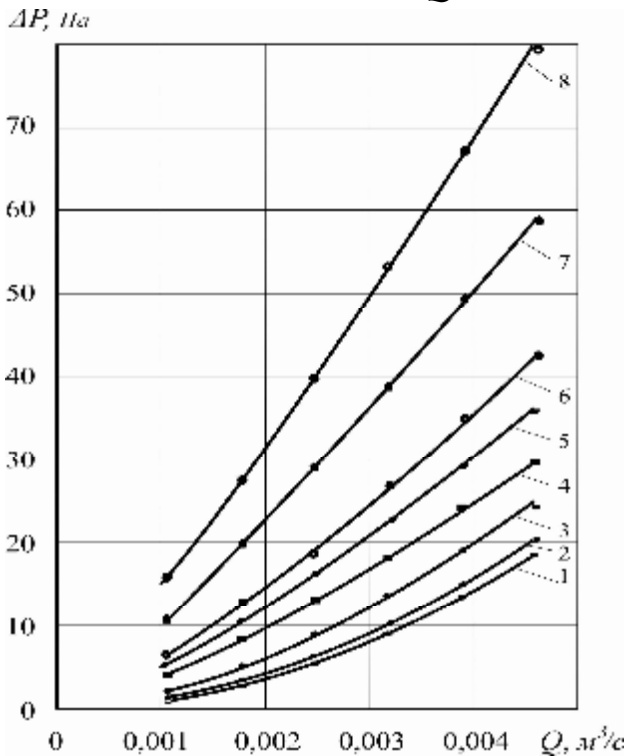


Рисунок 3 – Аеродинамічні характеристики пористих середовищ з різним гранулометричним складом: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 відповідно для класів крупності порід, мм: -45+30, -30+20, -20+10, -10+8, -8+6, -6+3, -3+1, -1+0,5.

У рівняннях (5) показник ступеня при  $Q$  зменшується зі зменшенням крупності гірських порід, отже режим фільтрації змінюється зі зміною фракційного складу гірських порід від турбулентного до ламінарного. З метою знаходження межі турбулентного і комбінованого режимів, у першу чергу, досліджувалися великі фракції породи. Досліди, проведені з фракціями -45 +30, -30 +20 -20 +10 мм, показали, що така крупність частинок порід у межах витрати повітря від 0,00106 до 0,00459  $\text{м}^3/\text{с}$  визначає турбулентний режим.

З графіків залежності  $\Delta P$  від  $Q$  в логарифмічній системі координат (рис. 4), видно, що тангенс кута нахилу прямих до осі абсцис для фракцій: -45+30 і -30+20 дорівнює 2,0. Що вказує на турбулентний режим для даного діапазону швидкості фільтрації повітря. Для більш дрібних фракцій режим руху в тому ж діапазоні витрат повітря відповідає комбінованому. Так, для класу -20 +10 мм показник  $n = 1,67$ ; -10 +8 мм  $n = 1,33$ ; -8 +6 мм  $n = 1,27$ ; -6 +3 мм  $n = 1,27$ ; -3 +1 мм  $n = 1,25$  і для

Для більш дрібних фракцій режим руху в тому ж діапазоні витрат повітря відповідає комбінованому. Так, для класу -20 +10 мм показник  $n = 1,67$ ; -10 +8 мм  $n = 1,33$ ; -8 +6 мм  $n = 1,27$ ; -6 +3 мм  $n = 1,27$ ; -3 +1 мм  $n = 1,25$  і для

класу  $-1 + 0,5 n = 1,09$ . Таким чином, в межах напорів при досліді границею турбулентного і комбінованого режимів на підставі певного значення  $n$  є крупність часток, що знаходиться між фракціями  $-30 + 20$  мм та  $-20 + 10$  мм.

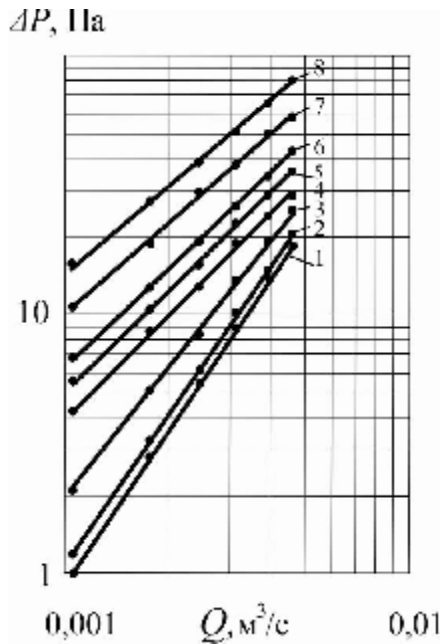


Рисунок 4 – Графіки залежності  $\Delta P$  від  $Q$  для пористих середовищ з різним фракційним складом: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 відповідно:  $-45+30$  мм,  $-30+20$  мм,  $-20+10$  мм,  $-10+8$  мм,  $-8+6$  мм,  $-6+3$  мм,  $-3+1$  мм,  $-1+0,5$  мм.

З метою встановлення впливу вологості пористого середовища на фільтрацію повітря були виконані лабораторні дослідження на тій же установці. Результати лабораторних досліджень наведено на рис. 6.

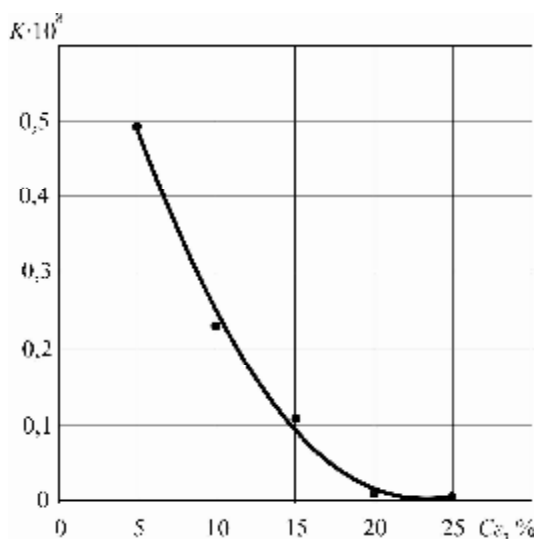


Рисунок 5 – Залежність проникності пористого середовища  $K$  від вмісту в ній глинистих сполук  $C_g$ .

Для оцінки впливу літологічного складу і фізико-механічних властивостей порід, що утворюють пористе середовище обваленої зони, на її проникність, були проведені дослідження режимів фільтрації через пористе середовище з додаванням глини у різних співвідношеннях. З графіків на рис. 5 видно, що при вмісті глини 25% проникність пористого середовища наближається до нуля і настає повна закупорка порових каналів. Ці дослідження дозволили встановити, що основною причиною зміни опору пористого середовища аеродинамічно активної зони обвалення є фільтрація води атмосферних опадів з вмістом зважених в ній дрібних частинок через поверхневий шар зони обвалення, які, проникаючи в поровий простір більш крупної гірської породи, викликають процес коагуляції пористого середовища.

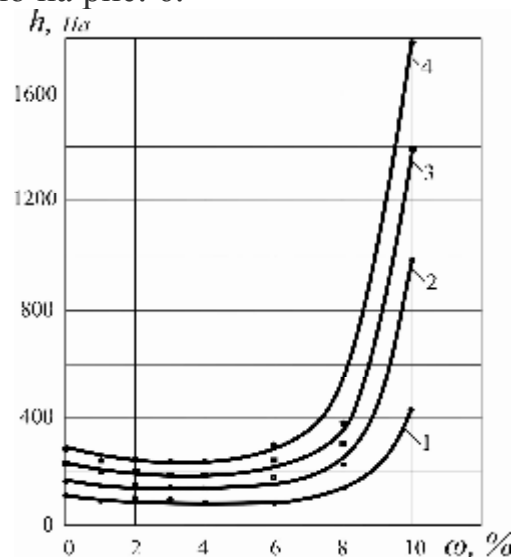


Рисунок 6 – Зміна депресії в залежності від вологості середовища класу  $-1+0,5$  мм при  $Q, \text{ м}^3/\text{с}$ : 1 – 0,004; 2 – 0,006; 3 – 0,008; 4 – 0,01.

З графіка видно, що незначне зволоження пористого середовища (до 3%) призводить до падіння депресії  $h$  при одній і тій же кількості повітря, що вказує на зниження його аеродинамічного опору. Це свідчить про те, що за такого зволоження величина коефіцієнта тертя повітря об поверхню частинок породи зменшується.

Із зростанням вологості опір залишається незмінним до певної межі, а потім різко зростає, що пояснюється перекриттям однієї частини порових каналів водою повністю і звуженням водяним шаром іншої частини порових каналів. Особливо різке зростання опору пористого середовища спостерігається при повному насиченні його вологою, що вказує на істотний вплив вологи на процеси фільтрації повітря.

При дослідженнях на моделі була встановлена залежність коефіцієнту турбулентності  $K_T$  від середнього діаметра пор  $d_{сер}$  (рис. 7).

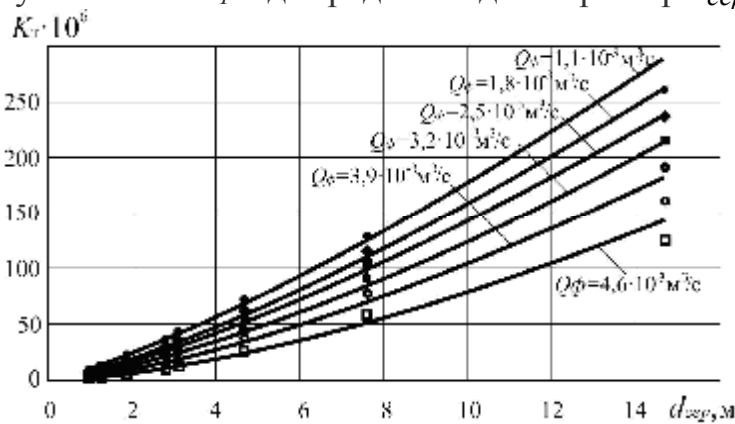


Рисунок 7 – Залежність  $K_T$  від  $d_{сер}$

Як видно з графіка, параметр  $K_T$  зростає зі збільшенням середнього діаметра пор  $d_{сер}$ . Емпірична залежність між параметрами  $K_T$ ,  $d_{сер}$  за різних витрат повітря  $Q_\phi$  отримана на підставі даних представлених на графіку має наступний вигляд:

$$K_T = (2050Q_\phi + 0,1)d_{сер}^{0,96-0,18 \ln Q_\phi}$$

Залежність проникності пористого середовища від середнього діаметра пор в породі і режиму фільтрації (рис. 8) свідчить про те, що із збільшенням пор та витрат фільтраційного потоку, а, отже, і зі збільшенням його турбулентності, коефіцієнт проникності (при одних і тих же величинах фільтрації) зростає несуттєво, тоді як коефіцієнт турбулентної проникності в цій області (рис. 7) при тих же умовах, навпаки, змінюється набагато інтенсивніше.

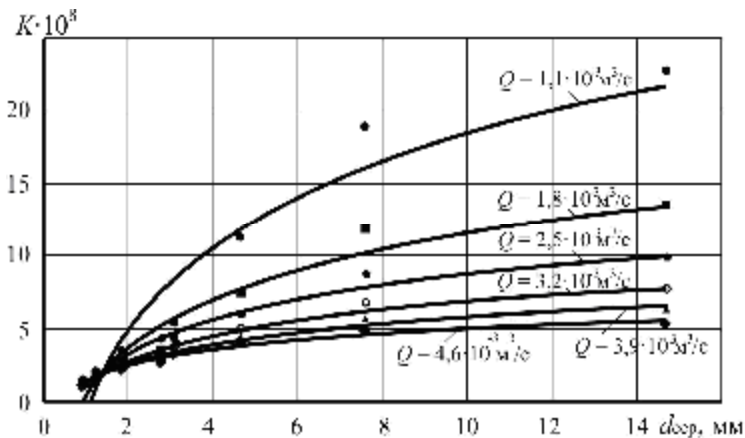


Рисунок 8 – Залежність  $K$  від  $d_{сер}$

Це явище пояснюється тим, що параметр турбулентності пористого середовища і проникність породи мають різний фізичний зміст. Перший обумовлює втрату тиску при квадратичному законі фільтрації, другий характеризує пористе середовище при русі в ньому газів з законом Дарсі при ламінарній течії і застосування його в рівняннях другого порядку не правомірно. Результати лабораторних досліджень свідчать про

те, що значення коефіцієнта проникності  $K$  для крупних класів (-45 +30 до -3 +1 мм) непостійна і змінюється в залежності від зміни  $Q$  і  $h$ , особливо для турбулентного і близького до нього режиму руху повітря (при  $n = 2$ ) і майже не змінюється для класу -1 +0,5 мм.

В умовах сформованого турбулентного режиму фільтрації повітря в пористому середовищі, коли коефіцієнт аеродинамічного опору  $f$  не залежить від параметра  $Re$ , для визначення втрат тиску правомірно використовувати параметр турбулентної проникності  $K_T$ , що враховує сумарно безліч факторів, пов'язаних з виникненням сильних збурень обумовлених надзвичайно складною конфігурацією пор і з яких виділити переважаючий фактор для даної пористого середовища, поки не представляється можливим.

Як показали дослідження, між параметром турбулентності пористого середовища і коефіцієнтом проникності існує залежність

$$K_T = 5,2 \cdot 10^{-6} e^{0,35K}. \quad (6)$$

Вираз (6) дозволяє без визначення величини параметра турбулентності пористого середовища, що в деяких випадках значно ускладнене, розрахувати величину депресії зони обвалення  $h_{з.о.}$  за двочленним рівнянням, яке справедливе в будь-якому діапазоні чисел  $Re$ .

$$h_{з.о.} = \frac{\mu Q_\phi}{K} \left( \frac{L_z}{S_\phi} + \frac{\ln \frac{L_\phi}{R_\phi}}{\pi l_\phi} \right) + \frac{576,9 \cdot \gamma_0 P_a Q_\phi^2 \text{sign}(Q_\phi)}{[\exp(0,35 \cdot K)] g T} \left( \frac{L_z}{S_\phi^2} + \frac{1}{\pi^2 l_\phi^2 R_\phi} \right). \quad (7)$$

Отриманий вираз (7) дозволяє визначити величину депресії при фільтрації повітря через зону обвалення з врахуванням турбулентної проникності.

Результати натурних досліджень методом повітряно-депресійних зйомок на шахтах показали, що величини середніх депресій через зону обвалення шахт Кривбасу знаходяться в межах 420 - 1260 Па. Величини фільтраційних притоків через зони обвалення складають 22,4...54,4 м<sup>3</sup>/с, а показник режиму руху повітря через зони обвалення коливався від ламінарного з  $n = 1$  при невисоких депресіях до комбінованого з  $n = 1,46$  при значних депресіях (900...1260 Па). Швидкості фільтрації на ділянці з прямолінійно-паралельним потоком при  $S_{сеп} = 500 \text{ м}^2$   $v = 0,05...0,025 \text{ м/с}$ . Значення коефіцієнтів проникності  $K$  знаходилися в межах  $21,4 \cdot 10^8...26,8 \cdot 10^8 \text{ м}^2$ .

Відносна помилка у визначенні  $h_{з.о.}$  за формулою (7) для режимів фільтрації, близьких до реальних, не перевищувала 5 %.

**Четвертий розділ присвячений** розробці способів підвищення ефективності вентиляції рудників з аероактивними зонами обвалень в умовах Кривбасу.

Відомо, що найбільш ефективний спосіб провітрювання шахт з аеродинамічно активними обваленнями – комбінований, що пояснюється наявністю зони з нульовою депресією. Якщо ця зона знаходиться під обваленням, то спостерігається зниження інтенсивності процесу фільтрації, в зв'язку із зменшенням різниці тисків між виробками шахти і денною поверхнею. Таким чином для зниження інтенсивності процесу фільтрації повітря через зону обвалення, необхідне змі-

щення зони нульової депресії в місце ведення очисних робіт, що можливо здійснити тільки шляхом регулювання режимів роботи вентиляторів головного провітрювання. При цьому різниця статичних тисків на поверхні зони обвалення і в її підшви буде близька до нуля, а витoki повітря будуть мінімальні (рис. 9).

Рішення цієї задачі розрахунковими методами вимагає інформації про параметри вентиляційної системи високої достовірності, які змінюються в просторі і часі. Тому для її вирішення рекомендовані методи математичної статистики, зокрема методи планування промислових експериментів при пошуку оптимальних умов. При цьому вентиляційна система представляється як кібернетична система з відповідними вхідними та вихідними параметрами.

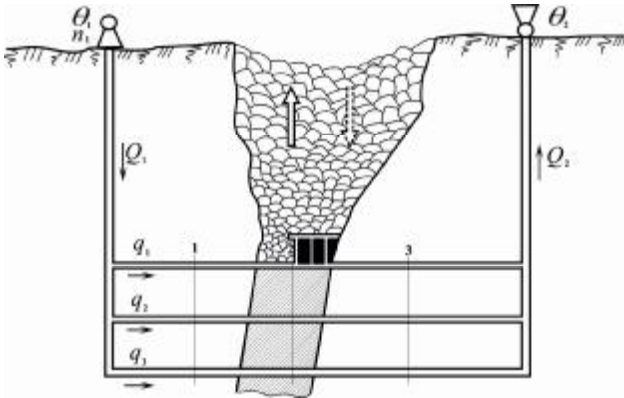


Рисунок 9 - Схема вентиляційної системи шахти з аероактивною зоною обвалення.

Оптимальні значення вхідних параметрів визначаються при дослідженні виразу (8) на екстремум, при якому досягається рівність нулю частинних похідних функції  $\Phi$ .

$$\Phi = b_0 + b_1\theta_1 + b_2n_1 + b_3\theta_2 + b_{12}\theta_1n_1 + b_{13}\theta_1\theta_2 + b_{23}n_1\theta_2 + b_{123}\theta_1n_1\theta_2, \quad (8)$$

де  $\theta_1$  і  $\theta_2$  – відповідно, кути встановлення лопаток осьового направляючого апарату першого і другого вентиляторів, град;  $b_0$  – вільні члени рівнянь;  $b_1$ ,  $b_2$ ,  $b_3$  – коефіцієнти при лінійних членах;  $b_{12}$ ,  $b_{13}$ ,  $b_{23}$ ,  $b_{123}$  – коефіцієнти при нелінійних членах.

Далі процедура зводиться до вирішення наступної системи рівнянь:

$$\frac{\partial \Phi}{\partial \theta_1} = b_1 + b_{12}n_1 + b_{13}\theta_2 + b_{123}n_1\theta_2,$$

$$\frac{\partial \Phi}{\partial n_1} = b_2 + b_{12}\theta_1 + b_{23}\theta_2 + b_{123}\theta_1\theta_2$$

$$\frac{\partial \Phi}{\partial \theta_2} = b_3 + b_{13}\theta_1 + b_{23}n_1 + b_{123}\theta_1n_1.$$

При провітрюванні шахт з аероактивними зонами обвалень всмоктувальним або нагнітальним способами з використанням одного вентилятора головного провітрювання, для створення зони нульової депресії необхідне спорудження компенсаційної камери і встановлення підземного вентилятора для вирівню-

вання тисків. Визначення режимів роботи вентилятора головного провітрювання та підземного вентилятора, при яких витоки (притоки) повітря через зони обвалення мінімальні проводиться аналогічно за вищенаведеною методикою.

Одним із умов підвищення ефективності вентиляції рудників з аероактивними зонами обвалень в умовах Кривбасу є підвищення достовірності та надійності проектних вентиляційних параметрів за рахунок врахування впливу аеродинамічних параметрів обвалень, як однієї з гілок вентиляційних мереж рудників з аеродинамічно активними обваленнями. Для цього рекомендується загальний показник режиму руху повітря у вентиляційній мережі рудника визначати за виразом

$$n_{BC} = \frac{Q_B}{\frac{Q_{ш}}{n_{ш}} + \frac{Q_{з.о.}(h_{з.о.} + h_{ВГ})}{n_{з.о.}h_{з.о.} + n_{ВГ}h_{ВГ}} + \frac{Q_{н.з.}}{n_{н.з.}} + \frac{Q_{кан}}{n_{кан}}},$$

де  $Q_{н.з.}$  і  $n_{н.з.}$  – величина витоків і показник режиму руху при витоках через герметизуючі пристрої надшахтної будівлі вентиляційного ствола;  $Q_{кан}$  і  $n_{кан}$  – величина витоків і показник режиму руху при витоках через нещільності каналу вентилятора і резервний вентилятор;  $Q_{з.о.}$   $n_{з.о.}$  – величина витоків і показник режиму руху при витоках через зону обвалення.

Для підвищення ефективності роботи вентиляційних систем рудників з аероактивними зонами обвалень виникає необхідність зменшення фільтраційної здатності гірських порід що є складовими зони обвалення. З цією метою поровий простір порід пропонується заповнювати повітронепроникними сумішами (рис. 10).

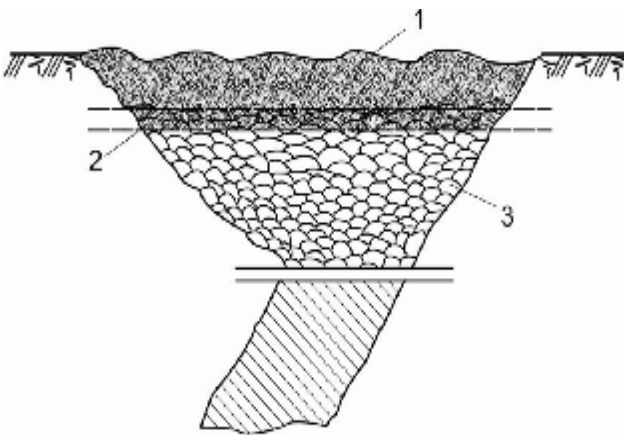


Рисунок 10 - Схема герметизації зони обвалення: 1 – кольматуюче середовище; 2 – зона кольматації; 3 – зона обвалення.

Перед засипанням необхідно вибуховим способом ліквідувати навіси і провести згладжування бортів.

Виконані в дисертаційній роботі дослідження впроваджені при розробці “Керівництва з комплексного обстеження вентиляції шахт, інших підземних об’єктів і підвищенню ефективності провітрювання” (НАОП 2014).

Для цього здійснюється засипка поверхні зони обвалення пухкими відкладеннями, розташованими в безпосередній близькості від провалів і тріщин. Роботи виконуються бульдозером, який зі сторони лежачого боку пласта пошарово зрізує ґрунт і переміщує його в провал.

Мінімальна потужність наносів, залишених над корінними породами, повинна бути не менше 3 м. Для засипки зон обвалення можуть бути використані глинисті наноси, шахтні породи, відсів та інші матеріали, в яких не містяться горючі речовини.

## ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі, що є закінченою науково-дослідною роботою, вирішена актуальна наукова задача встановлення закономірностей процесу фільтрації повітря через аеродинамічно активні зони обвалення рудників Кривбасу, що дозволяє прогнозувати витоки повітря і динаміку токсичних домішок у обвалених зонах та розробляти на їх основі заходи, спрямовані на підвищення ефективності провітрювання гірничих виробок залізорудних шахт.

**Найбільш важливі наукові та практичні результати, висновки і рекомендації** полягають у наступному:

1. Виконано аналіз аеродинамічно активних зон обвалень, на підставі якого встановлено, що основними параметрами обваленої зони масиву, які впливають на стан рудникової атмосфери у гірничих виробках є її обсяг у зоні зсуву гірського масиву, кількість і просторово-часовий розподіл шкідливих домішок в обваленому просторі, фільтраційні властивості порід у межах зон обвалень. Показано, що поліпшення стану рудникової атмосфери на робочих місцях в залізорудних шахтах, можливе лише при наявності достовірних даних про механізм переносу газоподібних домішок через пористе середовище зон обвалення.

2. На підставі виконаного аналізу схем фільтраційних течій в тріщиновато-пористих середовищах зон обвалення гірських порід, обґрунтована фізична модель одновимірних фільтраційних потоків при сталих і несталих режимах руху, що дозволяє забезпечити адекватний математичний опис процесу міграції флюїдів в обваленому масиві гірських порід.

3. Запропоновані математичні моделі процесу фільтрації повітря в аеродинамічно активних зонах обвалення гірських порід, що дозволяють з урахуванням загальної теорії руху газів в пористих середовищах, сформулювати закономірності і методи, справедливі для явищ взаємодії фільтраційних потоків з поровим простором обваленої породи, які мають місце в зруйнованому гірському масиві.

4. Встановлено основні закономірності фільтраційного руху повітря через аеродинамічно активні зони обвалення рудників Кривбасу при прямолінійно-паралельному і плоско-радіальному потоці, з урахуванням властивостей пористого середовища і режиму руху газу в ньому та характер зміни режимів фільтрації газів в залежності від гранулометричного складу пористого середовища.

5. Отримані експериментальні залежності показника режиму руху повітря через суміші різного гранулометричного складу порід від процентного вмісту визначального класу, які добре узгоджуються з фізичними уявленнями про фільтраційні процеси в аеродинамічно активних зонах обвалення при проходженні через них атмосферного повітря і дозволяють прогнозувати режими руху повітря через пористі середовища з різним фракційним складом.

6. Встановлено, що основним фактором, який впливає на зміну опору пористого середовища зони обвалення, є процес кольтматації, який відбувається при фільтрації рідини (в результаті атмосферних опадів) з вмістом дрібних зважених в ній частинок через поверхневий шар зони обвалення, які проникають в поровий простір більш крупної гірської породи.



7. Встановлено, що аеродинамічний опір пористого середовища зони обвалення від його вологості носить нелінійний екстремальний характер, при чому, незначне зволоження пористого середовища (до 3%) призводить до зниження опору, що пов'язано зі зниженням величини коефіцієнта тертя повітря об поверхню частинок породи, а при подальшому збільшенні вологості опір спочатку стабілізується, а потім різко зростає, що пояснюється перекриттям частини порових каналів водою або їх звуженням.

8. Розроблено метод визначення загального показника режиму руху повітря у вентиляційних системах рудників, що дозволяє враховувати процес фільтрації повітря через зону обвалення і значно підвищити достовірність та надійність проектних вентиляційних параметрів за рахунок врахування впливу аеродинамічних параметрів зони обвалення, як однієї з гілок вентиляційних мереж рудників з аеродинамічно активними обваленнями.

9. Розроблено метод зниження інтенсивності процесу фільтрації повітря в зоні обвалення, який забезпечує створення «нульової» зони перепаду тисків між гірничими виробками і поверхнею за рахунок визначення режимів роботи вентиляторів головного провітрювання, при яких забезпеченість свіжим повітрям підземних споживачів буде найбільш близька до розрахункової.

### **Основні наукові положення та результати опубліковані в наступних роботах:**

#### *Монографії:*

1. Повышение эффективности управления вентиляционными режимами железорудных шахт Украины: монография / В.И. Голинько, И.А. Евстратенко, Г.П. Кривцун, Л.И. Евстратенко. – Кривой Рог: Вид. «Діоніс», 2012. – 172 с.

2. Євстратенко Л.І. Гірничорятувальна справа на гірничорудних підприємствах: монографія / І.А. Євстратенко, І.Б. Ошмянський, Л.І. Євстратенко. – Кривий Ріг: Вид. ФО-П Чернявський Д.О., 2012. - 338 с.

#### *Публікації у закордонних виданнях:*

3. Yevstratenko L.I. Substantiation of parameters of filtration flows in mining collapsed areas / L.I. Yevstratenko, I.B. Oshmyansky // Mining of mineral deposits / V. Bondarenko, I. Kovalevs'ka, & Ganushevych – London: Taylor & Francis Group, (Annual scientific-technical collection), 2014. – P. 373 – 378.

4. Евстратенко Л.И. Проблемы повышения эффективности функционирования вентиляционных систем при добыче руды с глубоких горнорудных шахт / Ошмянский И.Б., Евстратенко Л.И. – Проблемы недропользования. Сб. научн. тр. Часть I. – Санкт-Петербург, 2013. – С. 99-101.

#### *Публікації у фахових виданнях:*

5. Евстратенко Л.И. Исследование влияния литологического состава горных пород на проницаемость пористой среды и режимы фильтрации воздуха в обрушенных зонах / Л.И. Евстратенко // Зб. наук. пр. НГУ. – 2014.-№ 45.-С.129-137.

6. Євстратенко Л.І. Дослідження режиму руху повітря в зонах обвалень рудників Кривбасу / Л.І. Євстратенко // Геотехнічна механіка: міжвід. зб. наук. пр. / Ін-т геотехн. Механіки ім. М.С. Полякова НАН України. – Д., 2014. – № 117. - С. 121-127.

7. Евстратенко Л.И. Исследование фильтрации воздуха в пористой среде обрушенных зон рудников Кривбасса / Л.И. Евстратенко, А.А. Юрченко // Зб. наук. пр. Дніпродзержинського державного технічного університету (технічні науки) / Дніпродзержинськ: ДДТУ. – 2014. – Випуск 2(25). – С. 193-197.

8. Евстратенко Л.И. Влияние гранулометрического состава пористой среды аэродинамических зон обрушений Кривбасса на режимы фильтрации воздуха / Л.И. Евстратенко // Гірничий вісник / Кривий Ріг: ДВНЗ “Криворізький національний університет”. – 2015. – Вип. 99.– С. 69-74.

9. Евстратенко Л.И. Применение методов планирования промышленных экспериментов для решения задач управления проветриванием шахт/ Л.И. Евстратенко, А.А. Юрченко, Е.В. Столбченко // Геотехнічна механіка: міжвід. зб. наук. пр. / Ін-т геотехн. механіки ім. М.С. Полякова НАН України. – Д., 2014. – № 120. – С. 213-223.

*Матеріали конференцій:*

10. Евстратенко Л. И. Снижение утечек воздуха через зону обрушения путем смещения точки нулевой депрессии в сети горных выработок / Л.И. Евстратенко, А.А. Юрченко // Современные технологии и экологическая безопасность использования гранулированных и эмульсионных взрывчатых веществ: тезисы докл. XI Междунар. научн.–техн. конф., 1 – 2 фев. 2015 г., г. Свалява. – Материалы конференции. – Кременчуг: КрНУ, 2015. – С. 13-16.

11. Евстратенко Л.И. Создание и внедрение высокоэффективных технических решений и схем, обеспечивающих надежное проветривание горных выработок при их проходке буровзрывным способом / В.М. Рясной, М.А. Митина, Л.И. Евстратенко // Форум гірників-2012: тези доп. міжнар. наук.-практ. конф., 2 – 5 жовт., 2012 р., м. Дніпропетровськ. – Д.: М-во освіти і науки України; Нац. гірн. ун-т., 2012. – Т. 4.– С. 116-121.

12. Евстратенко Л.И. Источники тепловой энергии для обогрева производственных помещений на карьерах // Л.И. Евстратенко, Г.П. Кривцун // Наукова весна – 2012: Матеріали III Всеукраїнської науково-технічної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених (Дніпропетровськ, 29 березня 2012 року). Д.:Державний ВНЗ “НГУ”, 2012.–С. 197-198.

*Нормативні акти з охорони праці:*

13. Керівництво з комплексного обстеження вентиляції шахт, інших підземних об'єктів та підвищення ефективності провітрювання. Нормативний акт з охорони праці. Редакційна комісія: Ошмянський І.Б., Лапшин О.Є., Євстратенко І.А., Куроченко В.М., Філянін Є.В., Євстратенко Л.І. - 2015 р. - 60 с.

**Особистий внесок дисертанта в роботах, опублікованих у співавторстві**, полягає в наступному: [1] досліджено структуру повітряного потоку в негерметичних гірничих виробках, що примикають до обваленого простору; [2] - запропоновані рішення щодо запобігання неконтрольованих підсосів повітря через обвалений простір; [3] – проведені теоретичні дослідження динаміки фільтраційних потоків через пористе середовище аеродинамічно активних зон обвалення при різних фізичних умовах; [4] - запропоновано шляхи підвищення ефективності функціонування вентиляційних систем при видобутку руди з глибоких гірничорудних шахт; [7] - досліджено вплив гранулометричного складу

пористого середовища аеродинамічних зон обвалень Кривбасу на режими фільтрації повітря [9, 10] - розроблена математична модель управління витоками повітря через зону обвалення з використанням методів планування промислових експериментів; [11] - розроблена безтрубна схема провітрювання та пристрій для її здійснення, [12] – виконано розрахунок доцільності застосування теплоутворюючого обладнання, [13] – виконано аналіз результатів комплексного обстеження вентиляційної системи шахти при наявності аеродинамічно активних зон обвалення.

### АНОТАЦІЯ

Євстратенко Л.І. Підвищення ефективності вентиляції рудників Кривбасу з аероактивними зонами обвалення. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.26.01 - "Охорона праці" – Державний ВНЗ «Криворізький національний університет», Кривий Ріг, 2015.

У дисертаційній роботі здійснено вирішення актуальної наукової задачі підвищення ефективності вентиляції рудників з аероактивними зонами обвалення.

Розроблена і теоретично обґрунтована математична модель формалізованого опису процесу фільтрації в аеродинамічно активних зонах обвалення, що відрізняється від відомих тим, що враховує зміни турбулентних характеристик пористого середовища та дозволяє визначати її основні аеродинамічні параметри.

Встановлені основні закономірності фільтраційного руху повітря через аеродинамічно активні зони обвалення рудників Кривбасу при прямолінійно-паралельному і плоскорадіальному потоках, з урахуванням властивостей пористого середовища та режиму руху газу в ньому.

На підставі експериментальних досліджень отримано характеристики пористих середовищ з різним гранулометричним складом, що дозволяють прогнозувати режим фільтрації в зоні обвалення. Визначено значення коефіцієнта турбулентної проникності для різних класів крупності зруйнованих гірських порід.

Розроблені способи підвищення ефективності вентиляції рудників Кривбасу з аероактивними зонами обвалень.

Результати роботи впроваджені при розробці “Керівництва з комплексного обстеження вентиляції шахт, інших підземних об’єктів і підвищенню ефективності провітрювання ” (НАОП-2014).

Ключові слова: вентиляція, рудник, аероактивна зона обвалення, пористе середовище, режим фільтрації.

### АННОТАЦИЯ

Евстратенко Л.И. Повышение эффективности вентиляции рудников Кривбасса с аэроактивными зонами обрушений. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.26.01 - “Охрана труда” – Государственное ВУЗ «Криворожский национальный университет», Днепропетровск, 2015.

В диссертационной работе осуществлено решение актуальной научной задачи повышения эффективности вентиляции рудников с аэроактивными зонами обрушений, которое заключается в установлении закономерностей процесса фильтрации утечек воздуха через зоны обрушений рудников Кривбасса, с учетом свойств пористой среды и режима движения газа в ней, позволяющих прогнозировать величину утечек воздуха в обрушенных зонах и разрабатывать на их основе мероприятия, направленные на повышающие эффективность проветривания горных выработок железорудных шахт. Изучены особенности формирования фильтрационных потоков в зонах обрушения рудников Кривбасса. Обоснована физическая модель-схема одномерных фильтрационных потоков при установившихся и неустановившихся режимах движения позволяющая обеспечить адекватное математическое описание процесса миграции флюидов в обрушенном массиве горных пород.

На основании выполненных теоретических исследований предложены математические модели процесса фильтрации воздуха в аэродинамически активных зонах обрушения горных пород, позволяющие с учетом общей теории движения газов в пористых средах, сформулировать закономерности происходящих явлений взаимодействия фильтрационных потоков с поровым пространством обрушенной породы.

В результате экспериментальных исследований получены характеристики пористых сред с различным гранулометрическим составом, позволяющие прогнозировать режим фильтрации в зоне обрушения. Определены значения коэффициента турбулентной проницаемости для различных классов крупности разрушенных горных пород. Получены зависимости коэффициента турбулентной проницаемости от физических свойств разрушенных горных пород и основных аэродинамических параметров, позволяющие с достаточной для инженерных расчетов точностью определять количественные характеристики фильтрационных течений в зонах обрушений.

Разработан метод определения общего показателя режима движения воздуха в вентиляционных системах рудников, позволяющий учитывать режим фильтрации воздуха через зону обрушения, повысить достоверность и надежность проектных вентиляционных параметров.

Для снижения интенсивности процесса фильтрации воздуха в зоне обрушения разработан способ создания «нулевой» зоны перепада давлений между горными выработками и поверхностью. Разработан способ снижения проницаемости зоны обрушения горных пород путем введения в зону обрушения глинистого раствора, обеспечивающего адсорбционное взаимодействие частиц раствора со скелетом породы, коагуляцию и структурообразование соединений раствора и «застывание» частиц и агрегатов в порах породы.

Выполненные в диссертационной работе теоретические и экспериментальные исследования внедрены при разработке «Руководства по комплексному обследованию вентиляции шахт, других подземных объектов и повышению эффективности проветривания» (НАОП-2014).

Ключевые слова: вентиляция, рудник, аэроактивная зона обрушения, проницаемость пористой среды, режим фильтрации.

## ABSTRACT

Evstratenko L. I. Improving the efficiency of the ventilation of the mines Krivbass with euroactive areas of collapse. - Manuscript.

The dissertation on competition of a scientific degree of candidate of technical Sciences in specialty 05.26.01 - "Labor protection" – State higher educational Institution "Krivoy Rih national University", Krivoy Rog, 2015.

The thesis work implemented the solution of actual scientific problem of increasing the efficiency of the ventilation of mines with areactivity areas of collapse.

Designed and theoretically based mathematical model is a formalized description of the filtration process in an aerodynamically active zones of collapse that is different is from the known fact that change takes into account the turbulent characteristics of the porous medium and to determine its basic aerodynamic parameters.

The main regularities of filtration of air movement through the AE-nodename core collapse Krivbass mines in a straight line-parallel and plane-radial flow, based on the properties of time-grained environment and mode of gas movement in it.

On the basis of experimental studies the obtained characteristics in ristech environments with different granulometric composition, which allows foresight to misiowaty filtering mode in the zone of collapse. Determined the value of the coefficient round-bulence permeability for different classes of size of broken rocks.

Developed methods to increase efficiency of ventilation of mines Krivbass euroactive with areas of collapse.

The results have been implemented in the development of the “Guidelines for comprehensive inspection of the ventilation of mines and other underground facilities and to increase the efficiency of ventilation ” (VIA-2014).

Keywords: ventilation, mine, euroactive area of collapse, porous medium, filtration mode.

ЄВСТРАТЕНКО Лілія Ігорівна

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВЕНТИЛЯЦІЇ РУДНИКІВ  
КРИВБАСУ З АЕРОАКТИВНИМИ ЗОНАМИ ОБВАЛЕННЯ**

(Автореферат)

Підписано до друку . Формат 60x90/16.  
Папір офсет. Ризографія. Ум. друк. арк. 0,9.  
Обл.-вид. арк. 0,9. Тираж 100 пр. Зам. №

Державний вищий навчальний заклад  
«Національний гірничий університет»  
49005, м. Дніпропетровськ, пр. К. Маркса, 19