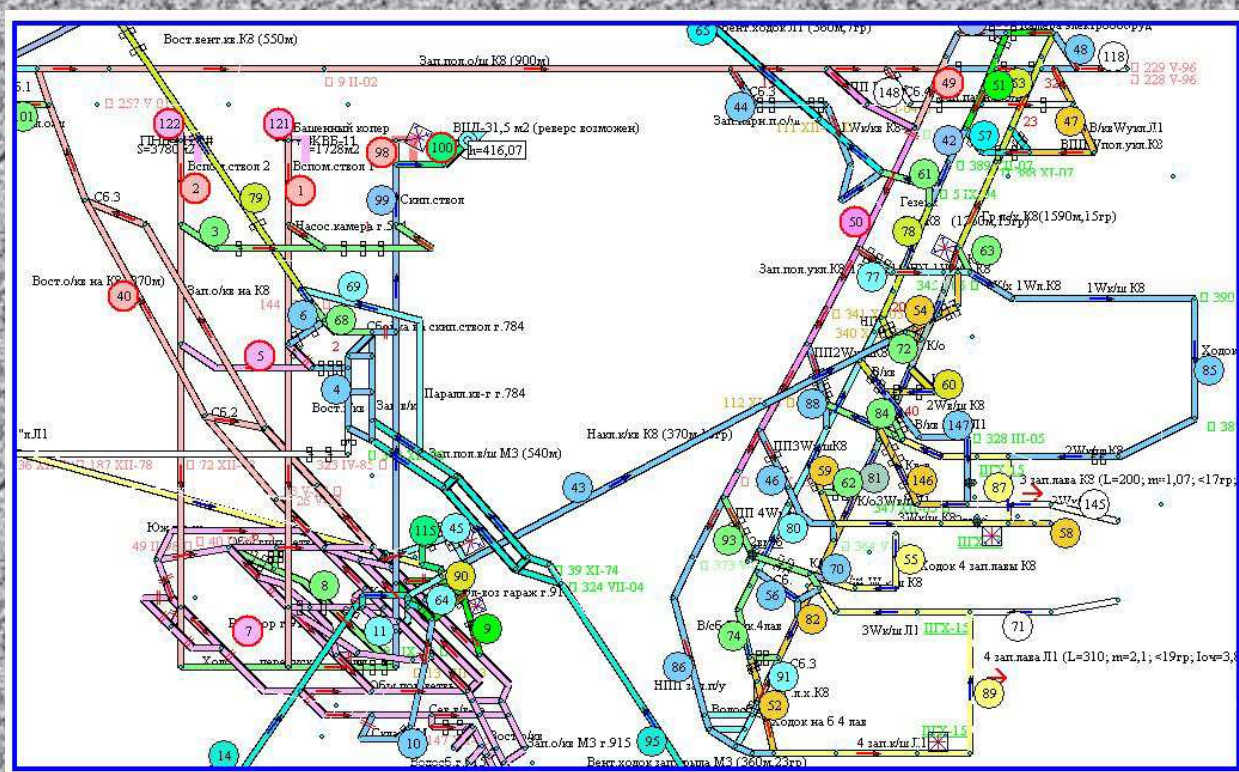


**В.О. Трофимов, Ю.Ф. Булгаков,
О.Л. Кавєра, М.В. Харьковский**

АЕРОЛОГІЯ ШАХТНИХ ВЕНТИЛЯЦІЙНИХ МЕРЕЖ



Донецьк - 2009

**В.О. Трофимов, Ю.Ф. Булгаков,
О.Л. Кавєра, М.В. Харьковий**

**АЕРОЛОГІЯ ШАХТНИХ
ВЕНТИЛЯЦІЙНИХ МЕРЕЖ**

**Норд-Прес
Донецьк-2009**

УДК 622.4
ББК 33.18
А 992

А 992 **Аерологія** шахтних вентиляційних мереж: Монографія / В.О. Трофимов, Ю.Ф. Булгаков, О.Л. Кавера, М.В. Харьковский. – Донецьк: – Норд-Прес, 2009. – 88 с.

ISBN 978-966-380-375-3

У монографії наведено загальні засади аерології вентиляційних мереж вугільних шахт, особливості визначення аеродинамічних параметрів і характеристик елементів вентиляційної мережі, загальні засади регулювання розподілу повітря, методичні засади підготовки бази даних і створення віртуальних моделей шахтних вентиляційних мереж.

Монографія призначена для використання в навчальному процесі студентів гірничих спеціальностей та фахівців з моделювання шахтних вентиляційних мереж.

УДК 622.4
ББК 33.18

ISBN 978-966-380-375-3

© В.О.Трофимов, Ю.Ф.Булгаков,
О.Л. Кавера, М.В. Харьковский, 2009
© Норд-Прес, 2009

ЗМІСТ

Вступ.....	4
1 АЕРОЛОГІЯ ШАХТНОЇ ВЕНТИЛЯЦІЙНОЇ МЕРЕЖІ	5
1.1 Загальні поняття аерології шахти.....	5
1.2 Зображення системи вентиляції шахти.....	9
1.3 Аеродинамічні параметри вугільної шахти.....	10
1.4 Визначення аеродинамічних параметрів вентиляційної мережі.....	15
1.5 Аеродинамічні характеристики шахтної вентиляційної мережі.....	17
1.6 Особливості визначення аеродинамічних параметрів вентиляційної мережі на шахті з декількома вентиляторами головного провітрювання...	20
1.7 Вентиляційні з'єднання гірничих виробок.....	23
1.8 Закони шахтної вентиляційної мережі.....	28
1.9 Характеристики чинників, які впливають на розподіл тиску і витрату повітря у вентиляційній мережі.....	36
1.10 Загальні засади регулювання розподілу повітря у вентиляційній мережі.....	42
2 АЕРОЛОГІЯ ГІРНИЧИХ ВИРОБОК.....	51
2.1 Загальні положення.....	51
2.2 Фізичні і аеродинамічні кордони гірничої виробки	51
2.3 Режим вентиляції гірничої виробки.....	55
2.4 Аеродинамічний опір гірничої виробки	56
2.5 Аеродинамічна структура гірничої виробки	58
2.6 Особливості змін аеродинамічного опору виробок в умовах шахти.....	61
3 ЗАСАДИ МОДЕЛЮВАННЯ ШАХТНОЇ ВЕНТИЛЯЦІЙНОЇ МЕРЕЖІ	63
3.1 Підготовка схеми вентиляції шахти до моделювання	63
3.2 Моделювання основних елементів вентиляційної мережі	64
3.3 Підготовка даних для комп'ютерної моделі шахтної вентиляційної мережі.....	73
3.4 Моделювання розподілу повітря.....	85
ЛІТЕРАТУРА	87

ВСТУП

Сучасний стан вугільних шахт України характеризується складними економічними та горно-геологічними умовами. Підвищується глибина ведення гірничих робіт, що призводить до підвищення температури повітря, погіршення умов проведення і підтримання гірничих виробок. Безпека схем вентиляції зменшується внаслідок збільшення довжини гірничих виробок. В цих умовах питання вентиляції вугільних шахт набувають особливу вагу. Вони мають прямий зв'язок з охороною праці і їх вирішення на сучасному рівні є запорукою підвищення безпеки праці.

В останні двадцять років набуло поширення використання програмного забезпечення для моделювання вентиляційних мереж вугільних шахт. Ці програмні комплекси дозволяють автоматизувати низку питань пов'язаних з прогнозуванням і регулюванням розподілу повітря в шахтних вентиляційних мережах, а також підготовку і підтримання планів ліквідації аварій.

Монографія містить сучасні уявлення про теоретичні та практичні засади вимірів і розрахунків, пов'язаних з розробкою віртуальних моделей вентиляційних мереж і методичні засади моделювання вентиляційних мереж вугільних шахт.

1 АЕРОЛОГІЯ ШАХТНОЇ ВЕНТИЛЯЦІЙНОЇ МЕРЕЖІ

1.1 Загальні поняття аерології шахти

До найбільш загальних понять вентиляції шахт належать: «шахтна вентиляційна система» і «шахтна вентиляційна мережа».

Вентиляційна система – це сукупність гірничих виробок, сполук виробок, вентиляційних споруд, пристроїв для регулювання розподілу повітря і штучних збудників руху повітря. Вентиляційну систему вугільної шахти можна представити у вигляді вентиляційної мережі. У цьому випадку вона виглядає як сукупність шляхів руху повітря (гілок) і сполук цих шляхів (вузлів).

На практиці схема вентиляційної системи (схема вентиляції шахти) може не співпадати зі схемою вентиляційної мережі (схема вентиляційних з'єднань), адже не можна передбачити наперед усі місця розташування шляхів зовнішніх і внутрішніх витоків повітря. Наприклад, шлях витoku повітря із вентиляційного трубопроводу не має «довжини», але на схемі вентиляційних з'єднань зображується як гілка. У свою чергу, ця фіктивна (уявна) гілка має дві уявні сполуки: «місце» поєднання з вентиляційним трубопроводом і «місце» потрапляння витoku повітря у виробку. Схема вентиляційних з'єднань, на відміну від схеми вентиляції, відображає поєднання системи місцевої вентиляції з загальношахтною.

До переліку основних понять, які використовують у аерології вугільних шахт, відносяться: депресія вентилятора, депресія шахти, подача вентилятора, витрата повітря в шахті, опір мережі вентилятора, опір вентиляційної мережі шахти, депресія гірничої виробки, витрата повітря у гірничій виробці, аеродинамічний опір виробки.

На шахтах України використовується всмоктувальна система вентиляції. Це означає, що вентилятори головного провітрювання утворюють розріджений вентиляційний потік у гірничих виробках. Інакше кажучи, при всмоктувальній вентиляції тиск повітря у гірничих виробках менший ніж атмосферний тиск.

Робочі характеристики вентиляторів називають статичними тому, що вони показують залежність подачі вентиляторів від різниці аеростатичного (статичного) тиску повітря (депресії) яку вони утворюють між поверхнею землі і поверхнею каналу перед колесом вентилятора (зі сторони всмоктування). Ця статична депресія витрачається на подолання опору мережі вентилятора і забезпечення певної витрати повітря

$$h_c = P_n - P_k,$$

де P_n , P_k – статичний тиск повітря, відповідно на початку мережі (поверхня землі) і в кінці мережі (на поверхні каналу вентилятора перед колесом вентилятора в точці де повітря не рухається).

Повна депресія вентилятора – сума втрат статичного тиску (депресії) повітря зі сторони всмоктування і сторони нагнітання.

Подача вентилятора – об'єм повітря, що проходить через вентилятор в одиницю часу.

Опір мережі вентилятора – опір руху повітря в мережі вентилятора.

Депресія шахти – різниця статичного тиску повітря між поверхнею землі і початком каналу вентилятора, яка витрачається на забезпечення руху повітря від поверхні землі до каналу вентилятора.

Витрата повітря у шахті – об'єм повітря, що проходить через вентиляційну мережу шахти в одиницю часу. До вентиляційної мережі шахти відносять частину мережі вентилятора головного провітрювання без каналу вентилятора і шляхів руху зовнішніх підсмоктувань повітря.

Опір шахтної вентиляційної мережі – опір руху повітря в мережі шахти.

Депресія гірничої виробки (статична депресія виробки) – різниця статичного тиску повітря між початком і кінцем гірничої виробки (точками на поверхні «підшви» чи «почви» виробки де повітря не рухається), яка витрачається на рух повітря по виробці.

Витрата повітря у гірничій виробці – об’єм повітря, який проходить в одиницю часу через поперечний перетин гірничої виробки.

Аеродинамічний опір гірничої виробки (опір виробки) – опір руху повітря по гірничій виробці.

Вентиляційні (аеродинамічні) параметри підземної частини гірничого підприємства мають ієрархічну структуру. Найбільш загальними є вентиляційні параметри мережі вентилятора головного провітрювання, бо вентилятор розташовують (у більшості випадків) на «кордоні» між підземною частиною шахти і поверхнею землі.

До головних складових частин мережі вентилятора можна віднести (у випадку всмоктувального способу провітрювання шахти) канал вентилятора, шляхи підсмоктування повітря з поверхні землі до каналу (зовнішні підсмоктування) та шахтну вентиляційну мережу.

Шахтна вентиляційна мережа вміщує усі підземні шляхи руху повітря тобто, гірничі виробки, шляхи внутрішніх витоків повітря і сполуки гірничих виробок. Можна вважати, що до «кордонів» шахтної мережі належать місця «з’єднання» шахтних стволів, з одного боку, з земною поверхнею, а з іншого – сполуку ствола, по якому повітря видається з шахти, з каналом вентилятора.

Подальший розподіл шахтної вентиляційної мережі на окремі частини (структура підземної частини мережі) залежить від схеми вентиляції шахти. Це можуть бути «крила» шахтного поля, секції, уклонні чи бремсбергові поля. У межах цих частин шахтної вентиляційної мережі можна виділити окремі ділянки з виїмковими чи підготовчими вибоями.

Під час вимірювань чи розрахунків інколи користуються поняттям «вентиляційна ділянка». Воно відрізняється від вищенаведених структурних одиниць вентиляційної мережі. Вентиляційна ділянка – це окрема частина вентиляційної мережі шахти, яка поєднується з мережею тільки у двох сполуках (вузлах).

До елементарних (таких, що далі не розподіляються) частин вентиляційної мережі належать шляхи руху повітря (гілки-виробки) між

двома найближчими сполуками і самі сполуки (вузли-сполуки). Тобто, шахтна вентиляційна система, представлена у вигляді вентиляційної мережі, складається тільки з гілок-виробок і вузлів-сполук.

До нормованих одиниць вентиляційної мережі відносяться вентиляційні з'єднання. Послідовні, паралельні, діагональні та комбіновані з'єднання можуть складатися як із окремих гірничих виробок, так і з окремих вентиляційних дільниць.

Відповідно до наведених частин шахтної вентиляційної мережі, кожен з них характеризує аеродинамічні параметри: статична депресія (h), витрата повітря (Q) і опір руху повітря (R). Ці три параметри об'єднує закон аеродинамічного опору

$$h = R Q^2. \quad (1.1)$$

Параметр R потребує уточнення. Слід відрізнити загальне поняття «опору» від поняття «аеродинамічний опір». До аеродинамічного опору належать: опір тертя повітря о стінки гірничих виробок, місцеві опори (повороти виробок, звуження та розширення перерізу виробок, сполуки виробок) і лобові опори (обладнання і транспортні засоби які частково заповнюють переріз виробок). Але, крім того, на розподіл повітря у гірничих виробках впливає дія активних чинників: природна тяга, падіння води і вугілля у похилих виробках і вибоях, рух транспортних засобів. В аварійних умовах для ліквідації аварій використовують різні пристрої, які теж впливають на розподіл повітря у вентиляційній мережі. Термін «активний» означає, що ці чинники не тільки впливають на розподіл повітря, але можуть змінювати напрямок руху вентиляційного струменю у окремих виробках чи частинах шахтної мережі.

Активні чинники не впливають безпосередньо на аеродинамічний опір, тобто на коефіцієнт аеродинамічного опору виробок, але їх дія може виглядати як зменшення чи збільшення опору окремої виробки чи частини вентиляційної мережі. Теоретично дію окремих чинників можна показати (якщо треба відокремити вплив окремих чинників на розподіл повітря у

мережі) за допомогою спеціальних активізованих характеристик. Така характеристика враховує дію окремого джерела тяги у виробці чи вентиляційному з'єднанні.

Таким чином, поняття «аеродинамічний опір» можна вживати тільки для окремих виробок, їх частин та вентиляційних з'єднань які не містять «активних» збудників руху повітря. Якщо ж у сукупності виробок, що розглядаються, діє якийсь збудник руху повітря (окрім вентилятора головного провітрювання), то слід використовувати більш узагальнене поняття опору: опір виробки, опір мережі, опір вентиляційної дільниці і так далі. Такий поділ дає змогу відокремити та показати (візуалізувати за допомогою графічного методу) вплив окремого збудника руху повітря на розподіл повітря, у випадках, коли у мережі діє декілька штучних і природних збудників руху повітря. Відповідно, слід відрізнити аеродинамічні і активізовані характеристики виробки (вентиляційної дільниці, вентиляційного з'єднання, мережі).

Більшість сучасних шахт мають декілька (два і більше) вентиляторів головного провітрювання. Існує взаємовплив вентиляторів, і зміна режиму роботи одного з них може призвести до перерозподілу тиску і витрат повітря по всій шахтній мережі, без зміни аеродинамічного опору окремих частин шахти.

1.2 Зображення системи вентиляції шахти

Для вирішення задач вентиляції і планів ліквідації аварій використовують різні схеми підземної споруди.

Головним носієм інформації про розташування всіх гірничих виробок є схема вентиляції шахти. Ця схема не має масштабу. Вона дає змогу зрозуміти як розташовані виробки одна відносно іншої. На схемі вентиляції, за допомогою спеціальних позначок, показують напрямки руху повітря по виробкам, розташування вентиляційних споруд, витрат повітря, вентиляторів головного і місцевого провітрювання, місця вимірювання повітря і назви виробок.

Розрізняють дві модифікації схеми вентиляції шахти: перша – для повсякденного використання, а друга – у якості додатку до плану ліквідації аварій (ПЛА). Різниця між ними полягає у кількості інформації, яка міститься на схемі. Перша схема містить інформацію яка забезпечує видобуток вугілля (нормальні умови), а друга – інформацію, яка використовується під час рятування людей і ліквідації аварій.

Другий тип схем – плани гірничих виробок. На цих планах усі виробки показують у масштабі (1:5000) по окремих пластах. Головна особливість планів гірничих виробок – вони відображають розвиток гірничих робіт у часі. З точки зору вентиляції користь таких схем полягає в тому, що вони є носієм інформації про висотні відмітки і довжину всіх частин шахтної мережі.

На підставі схем вентиляції розробляють схеми вентиляційних з'єднань шахти. Інакше кажучи, ці схеми відображають вентиляційну систему у вигляді вентиляційної мережі. За допомогою таких зображень можна встановити, до якого типу вентиляційних з'єднань належить окрема група виробок чи частин шахти. На схемах вентиляційних з'єднань, виробки показують у вигляді гілок, а сполуки – у вигляді вузлів. Головна інформація, яку містять такі схеми – це номери гілок-виробок і вузлів-сполук. Депресійна служба ДВГРС розробляє і використовує схеми вентиляційних мереж, які зовні повторюють схеми вентиляції шахти.

На підставі всіх вищеперелічених схем розробляються віртуальні (комп'ютерні) моделі шахтної вентиляційної мережі. Графічне (візуалізоване) представлення цієї схеми можна вивести на дисплей.

1.3 Аеродинамічні параметри вугільної шахти

Відповідно до вимог Правил безпеки на діючій шахті необхідно визначати аеродинамічні параметри всіх елементів вентиляційної мережі і збудників руху повітря. У мережі вентилятора визначають статичну депресію вентилятора (h_e), подачу вентилятора (Q_e), опір мережі на яку працює вентилятор (R_e), статичну депресію шахти (h_w), витрату повітря у шахті (Q_w),

опір шахти чи шахтної вентиляційної мережі ($R_{ш}$), зовнішні підсмоктування-витоки (Q_3), опір шляху (шляхів) зовнішніх підсмоктувань повітря (R_3), депресію (h_k) і опір (R_k) каналу вентилятора.

Виміри і розрахунки, які пов'язані з визначенням параметрів вентилятора і шахтної мережі відбуваються у відповідності до схеми вентиляційної мережі кожної шахти.

У загальному випадку, схему вентиляції підземної частини шахти з одним вентилятором можна показати у спрощеному вигляді (рис. 1.1).

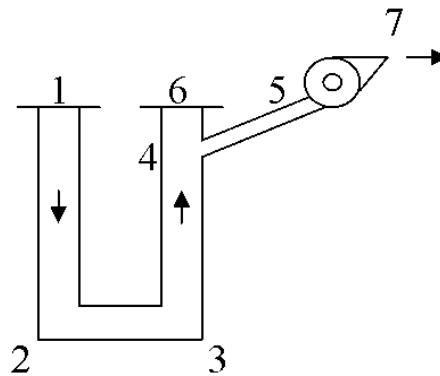


Рис. 1.1 – Спрощена схема вентиляції шахти

Спрощена схема вентиляції трансформується у схему шахтної вентиляційної мережі (рис. 1.2) чи, інакше кажучи, схему вентиляційних з'єднань (спосіб зображення гілок вентиляційної мережі у вигляді прямих і ламаних ліній замість дуг, запровадив відомий російський фахівець Ф.С. Клебанов).

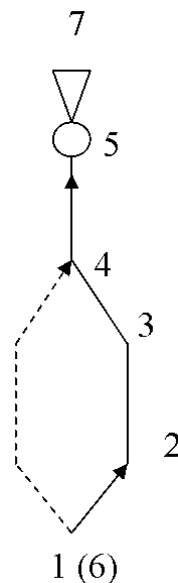


Рис. 1.2 – Спрощена схема шахтної вентиляційної мережі

Використання схем (рис. 1.1, 1.2) спрощує реальній стан речей, але дає змогу структурувати окремі елементи вентиляційної мережі і ідентифікувати їх як «гілки» та «вузли». Наприклад, вузли 1, 6, 7 визначають місця «поєднання» вентиляційної мережі з поверхнею землі. Між вузлами 1 та 2 розташований ствол по якому повітря подається у шахту. Гілка 3-4 визначає частину ствола по якому повітря виходить із шахти. Між вузлами 4 та 5 розташований канал вентилятора, а гілка 5-7 – вентилятор головного провітрювання. Гілка 6-5 показує шлях повітря з поверхні землі до початку каналу вентилятора через устя ствола.

1.3.1 Зовнішні підсмоктування-витоки повітря. В умовах реальної шахти може існувати багато шляхів, по яких повітря потрапляє в канал вентилятора, оминаючи шахтну вентиляційну мережу (рис. 1.3).

Відповідно до цієї схеми, підсмоктування повітря з поверхні землі відбувається через устя ствола (1), обвідний канал (3), щілини атмосферної ляди (10) і ляди обвідного каналу (9).

Наступна схема вентиляції показує особливості з'єднання каналів цієї вентиляторної установки (рис. 1.4).

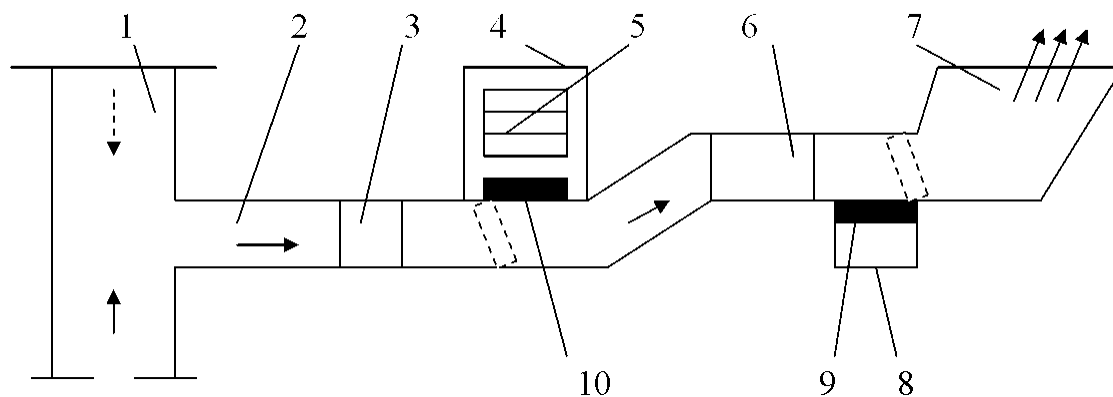


Рис. 1.3 – Спрощена схема вентиляторної установки з осьовими вентиляторами:

- 1 – устя ствола; 2 – основний канал; 3 – сполука основного каналу з обвідним; 4 – повітрязабірна будка; 5 – вікно з жалюзі; 6 – вентилятор;
- 7 – дифузор вентиляторної установки; 8 – обвідний канал;
- 9 – лядя обвідного каналу; 10 – лядя повітрязабираючої будки

На підставі цих двох схем (рис. 1.3 і 1.4) можна побудувати детальну схему вентиляційних з'єднань (схему мережі) цієї частини шахти (рис. 1.5).

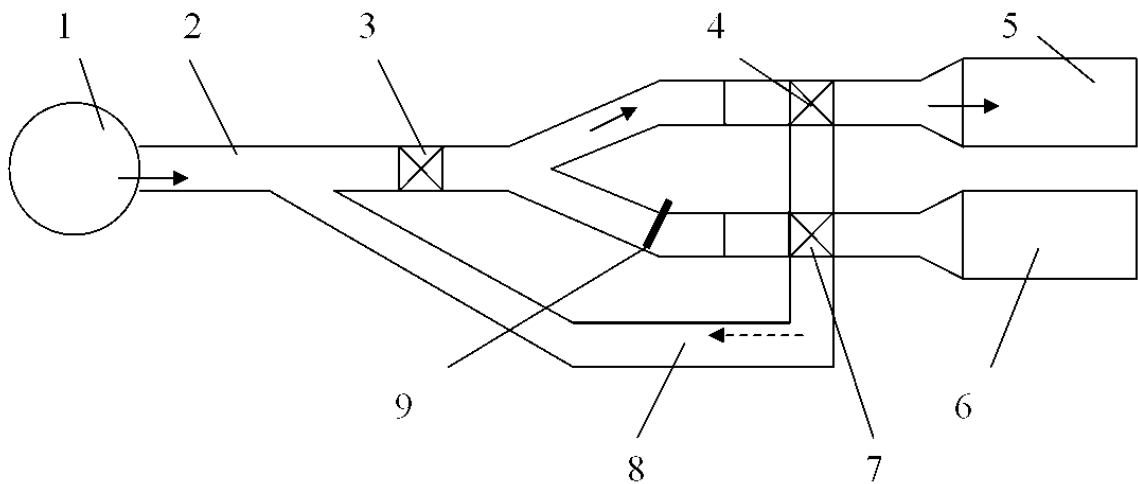


Рис. 1.4 – Схема каналів вентиляторної установки:

1 – ствол; 2 – основний канал; 3 – лядя повітрязабірної будки; 4 – лядя обвідного каналу робочого вентилятора; 5 – дифузор робочого вентилятора; 6 – дифузор резервного вентилятора; 7 – лядя обвідного каналу резервного вентилятору; 8 – обвідний канал; 9 – шибер резервного вентилятора

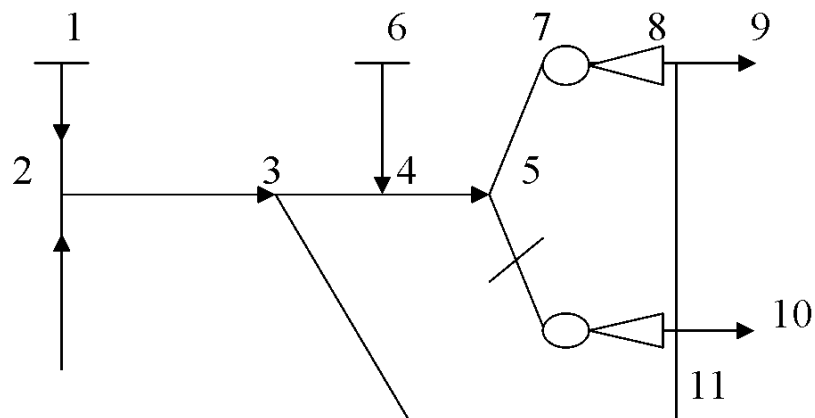


Рис. 1.5 – Схема вентиляційних з'єднань каналів вентиляторної установки

У більшості випадків моделювати особливості розподілу депресії чи окремі шляхи руху повітря, що потрапляє с поверхні землі у канали вентиляторної установки, не має сенсу. Це необхідно робити тільки у випадку коли розробляються дії по зменшенню зовнішніх підсмоктувань повітря. Крім того, у більшості випадків виміри витрат повітря у каналах можуть давати велику похибку (до 50 %). Адже основний канал вентилятора має декілька сполук (з обвідними каналами, ходком у канал і резервним вентилятором) і невелику довжину між місцями, де повітря (витоки)

потрапляє в канал. Інакше кажучи, більшість каналів вентиляторної установки не відповідають вимогам щодо облаштування місць вимірювання швидкості повітря.

У цей час є загальноприйнятим, що усі шляхи руху повітря з поверхні землі до каналу вентилятора моделюють однією гілкою (рідко двома), з витратою повітря, що дорівнює сумі усіх зовнішніх підсмоктувань, а депресію цієї гілки вимірюють через устя ствола, де встановлено вентилятор (депресія шляху зовнішніх підсмоктувань через устя ствола дорівнює депресії шахти). Інакше кажучи, всі зовнішні підсмоктування штучно «відносять» до устя ствола. Тобто, п'ять гілок (рис. 1.5, гілки 1-2, 6-4, 8-11, 10-11, 11-3) замінюють однією гілкою 1-2. У цьому випадку опір шляху зовнішніх підсмоктувань стає фіктивним чи умовним.

1.3.2 Опір каналу вентилятора. Опір каналу вентилятора у більшості випадків теж визначається як фіктивний (умовний). У відповідності зі схемою (рис. 1.5), чотири ділянки каналу вентиляторної установки (2-3-4-5-7) показують як одну гілку вентиляційної мережі (рис. 1.2, ділянка 4-5).

Таким чином, фактичний розподіл статичної депресії і витрат повітря по окремих ділянках каналу штучно замінюється на фіктивний (умовний). У цьому випадку, з одного боку, враховуються загальні параметри каналу вентилятора без зайвої деталізації, а з іншого – «зв'язуються» абстрактні поняття аеродинамічних параметрів з візуальними образами відповідних шляхів руху повітря – гілками. Така методика спрощує розрахунки відповідних аеродинамічних параметрів і їх використання при моделюванні основних елементів вентиляційної мережі.

Вищенаведений підхід є загальноприйнятим, але слід пам'ятати, що при усіх значних (на 10 %) змінах подачі вентилятора (внаслідок зміни аеродинамічного опору шахтної мережі, регулювання режиму роботи вентилятора чи сезонної зміни величини депресії природної тяги у шахтних стволах) слід перераховувати усі «фіктивні» параметри. Особливу увагу цим питанням слід приділяти на шахтах з декількома вентиляторами головного провітрювання.

Усе вищезазначене стосується, в першу чергу, вентиляторних установок, де реверсування вентиляційного струменю (зміна напрямку руху повітря в усій вентиляційній мережі) відбувається за допомогою спеціальних ляд і обвідних каналів. Якщо реверсування вентиляційного струменю відбувається за рахунок зміни напрямку руху колеса вентилятора (вентилятори серії ВОД), то опір каналу вентилятора і шляху зовнішніх підсмоктувань повітря можна вважати «аеродинамічним», тобто таким, що повністю відповідає закону аеродинамічного опору.

1.4 Визначення аеродинамічних параметрів вентиляційної мережі

Депресія вентилятора головного провітрювання (h_e) визначається як різниця статичних тисків повітря між поверхнею землі і точкою на поверхні каналу перед колесом вентилятора де повітря не рухається.

Депресія шахти (h_w) визначається як різниця тисків повітря між поверхнею землі і точкою на поверхні каналу у місці його поєднання зі стволом. Депресія шахти – це частина депресії вентилятора, яка витрачається на забезпечення руху повітря у вентиляційній мережі шахти.

Різниця між статичною депресією вентилятора і депресією шахти визначає депресію каналу вентилятора (h_k)

$$h_k = h_e - h_w.$$

Подача вентилятора (Q_e) складається з суми усіх підсмоктувань повітря с поверхні землі (Q_3) і витрати повітря по стволу де встановлено вентилятор, тобто витрати повітря в шахті (Q_w). Її вимірюють у каналі вентилятора чи розраховують за допомогою графічної характеристики вентилятора

$$Q_e = Q_3 + Q_w.$$

Опір мережі вентилятора (R_e) розраховується по формулі

$$R_g = h_g / Q_g^2.$$

Опір каналу вентилятора (R_k) розраховується по формулі ($Q_g = Q_k$)

$$R_k = h_k / Q_g^2.$$

Зовнішні підсмоктування повітря розраховують як різницю між подачею вентилятора (Q_g) і витратою повітря у шахті

$$Q_3 = Q_g - Q_{ш}.$$

Опір шляхів зовнішніх підсмоктувань визначається після виміру депресії шахти через устя ствола, адже статична депресія шахти ($h_{ш}$) дорівнює депресії шляху зовнішніх підсмоктувань (h_3)

$$R_3 = h_3 / Q_3^2.$$

Загальна (сумарна) депресія шахти ($h_{3,ш}$) визначається з урахуванням дії в стволах шахти природної тяги. Депресія природної тяги (h_e) розраховується за допомогою гідродинамічного чи термодинамічного методів. Якщо напрямок дії природної тяги співпадає з напрямком роботи вентилятора (позитивна природна тяга), то вона додається до депресії шахти (яка виміряна через устя ствола з вентилятором – $h_{ш}$). У цьому випадку повітря йде у шахту за рахунок сумісної дії вентилятора і природної тяги. Якщо напрямок дії природної тяги не співпадає з напрямком роботи вентилятора (негативна природна тяга), то депресія природної тяги віднімається від депресії шахти

$$h_{3,ш} = h_{ш} \pm h_e. \quad (1.2)$$

Опір шахтної мережі визначається з урахуванням (1.2)

$$R_{ш} = (h_{ш} \pm h_e) / Q_e^2. \quad (1.3)$$

Аеродинамічний опір мережі вентилятора (дія природної тяги врахована у опорі шахти) розраховується як опір послідовно-паралельного з'єднання трьох гілок: гілки-каналу (рис. 1.2, гілка 4-5), гілки-підсмоктування (1-4) і гілки-шахти (1-2-3-4)

$$R_{a.в.} = R_{\kappa} + \frac{1}{\left(\frac{1}{\sqrt{R_3}} + \frac{1}{\sqrt{R_{ш}}} \right)^2}.$$

Якщо аеродинамічний опір мережі вентилятора ($R_{a.в.}$) розраховувати на підставі вимірів депресії вентилятора (h_e), то, якщо у шахтних стволах діє позитивна природна тяга, цей опір буде менший ніж той, що рахується по формулі (1.3). Дію природної тяги у шахті «вентилятор сприймає» як зменшення опору «своєї» мережі. Якщо природна тяга у шахті негативна, то виникає враження, що аеродинамічний опір мережі вентилятора підвищується.

У цих умовах не можна складати депресію вентилятора (h_e) з депресією природної тяги (h_e), адже вона вже врахована при визначенні аеродинамічного опору шахти (1.3).

Режим роботи вентилятора визначає статична депресія (h_e) і подача (Q_e), а режим провітрювання шахти статична депресія шахти ($h_{ш}$) і витрата повітря в шахті ($Q_{ш}$).

1.5 Аеродинамічні характеристики шахтної вентиляційної мережі

Аеродинамічна характеристика мережі чи якоїсь її частини – це сукупність точок (лінія) які визначають окремі режими провітрювання мережі чи її частини.

На відміну від аеродинамічних параметрів, які характеризують режим провітрювання усїєї мережі чи окремої її частини, аеродинамічні характеристики описують зв'язок депресії з витратами повітря і аеродинамічним опором вентиляційної мережі (окремого елемента мережі) у певному діапазоні параметрів.

Визначальною є аеродинамічна (робоча) характеристика вентилятора головного провітрювання (рис. 1.6, лінія 1-1).

Рівняння аеродинамічної характеристики вентилятора у загальному випадку має такий вигляд

$$h = A - bQ^2,$$

де A і b – коефіцієнти аеродинамічної характеристики вентилятора (визначаються по графічному зображенню характеристик).

Характеристику мережі вентилятора (рис. 1.6, лінія R_{θ}) визначає рівняння аеродинамічного опору (1.1).

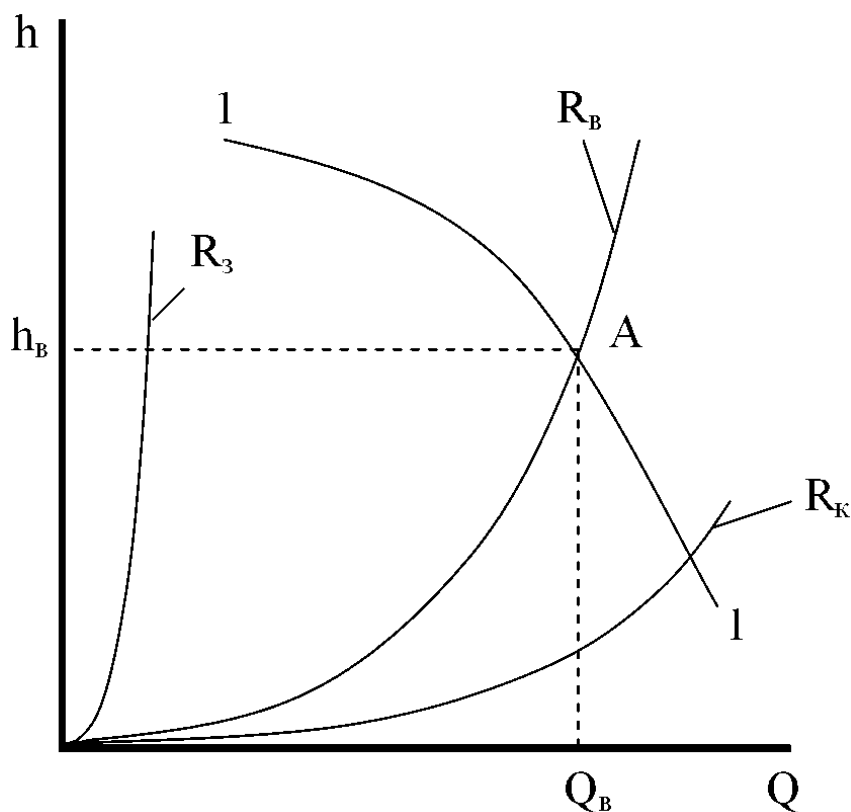


Рис. 1.6 – Визначення режиму роботи вентилятора

Точка перетину аеродинамічної характеристики вентилятора і характеристики опору його мережі (точка А) визначає режим роботи вентилятора, тобто його робочі параметри ($h_в, Q_в$).

Аналогічно вентилятору, кожна гілка вентиляційної мережі має свою аеродинамічну характеристику і характеристику опору. Аеродинамічні характеристики гілок (з'єднань, вентиляційних ділянок) називають «приведеними», тобто вони є похідними від характеристики вентилятора (в аварійній вентиляції використовують також термін «напірна» характеристика). Ці характеристики використовують для показу чи врахування впливу окремих чинників на режим провітрювання гілок-виробок, вентиляційних з'єднань чи вентиляційних ділянок. Наявність у кожної гілки вентиляційної мережі приведеної характеристики є властивістю вентиляційної мережі.

Розуміння закономірностей формування приведених характеристик у простих вентиляційних з'єднаннях дає змогу зрозуміти і візуалізувати «механізм» впливу різних чинників на режим вентиляції мережі (частини мережі), адже кожна приведена характеристика описує сукупність усіх можливих режимів провітрювання відповідної частини шахти.

Приведену аеродинамічну характеристику і характеристику опору можна визначити для будь-якої частини шахти. Так, наприклад, характеристики опорів каналу і шляху зовнішніх підсмоктувань повітря теж мають вигляд парабол (рис. 1.6, лінії R_k і $R_з$).

Для побудови аеродинамічної (приведеної) характеристики шахтної мережі (рис. 1.7) використовується графічний метод.

Схема мережі вентилятора (рис. 1.2) має вигляд послідовно-паралельного з'єднання. Отже, спочатку треба відняти (по ординатах) характеристику каналу (R_k) від характеристики вентилятора (1-1). Після цього з'являється характеристика паралельного з'єднання (лінія 2-2). Від неї треба відняти (по абсцисах) характеристику опору шляху зовнішніх підсмоктувань ($R_з$). Лінія 3-3 буде зображенням приведеної характеристики

шахти. Тобто, на цій лінії «знаходяться» усі можливі режими провітрювання шахтної мережі ($h_{ш}, Q_{ш}$).

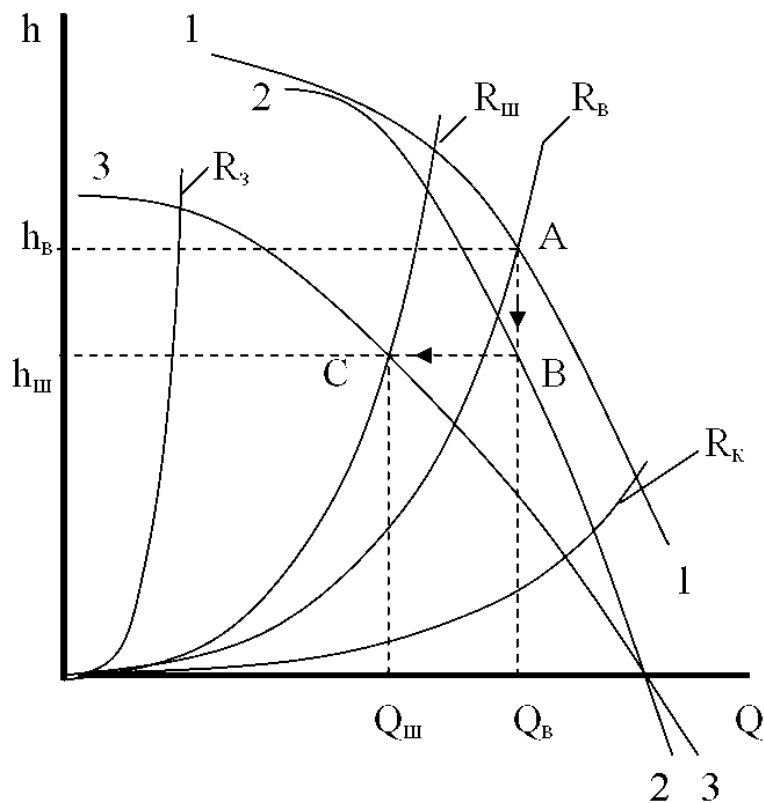


Рис. 1.7 – Побудова аеродинамічної характеристики шахтної мережі

1.6 Особливості визначення аеродинамічних параметрів вентиляційної мережі на шахті з декількома вентиляторами головного провітрювання

На шахтах з декількома вентиляторами (два і більше) слід враховувати взаємовплив вентиляторів на режим провітрювання шахти і режим роботи самих вентиляторів. Це стосується, насамперед, питань регулювання розподілу повітря у вентиляційній мережі.

До головних особливостей шахт з декількома вентиляторами слід віднести те, що у вентиляційній мережі формуються своєрідні «зони» впливу окремих вентиляторів. У спрощеному вигляді сенс поділу мережі на «зони впливу» можна побачити на схемі вентиляційної мережі шахти з двома фланговими вентиляторами (рис. 1.8).

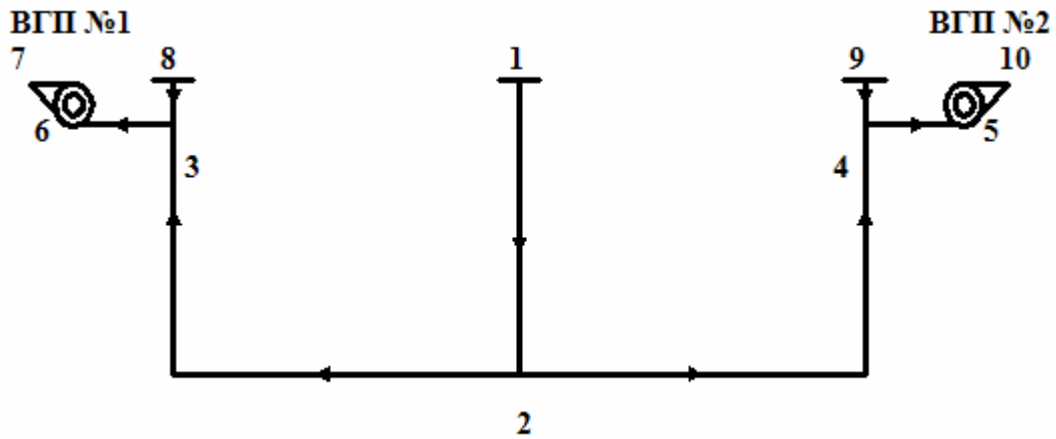


Рис. 1.8 – Схема шахтної мережі з двома фланговими вентиляторами

Особливість зображення цієї схеми полягає у тому, що всі частини шахти показані у вигляді гілок, що не відповідає вимогам Правил безпеки щодо зображень (на схемах вентиляції та планах гірничих виробок усі виробки показують двома паралельними лініями). Фактично, якщо поставити на такій схемі номери вузлів (місця поєднання виробок у мережі), то вона об'єднає у собі і схему вентиляції і схему вентиляційної мережі шахти. Таке зображення використовується при моделюванні вентиляційної мережі за допомогою комп'ютерів.

У схемах вентиляції з декількома вентиляторами слід розрізнити дві «зони» взаємовпливу вентиляторів. Загальна зона (1-2), де напрямок дії всіх вентиляторів співпадає, і окремі зони, де напрямок дії вентиляторів не співпадає.

Ознакою того, до зони впливу якого вентилятора належить гірничавиробка чи частина вентиляційної мережі, є те, до якого вентилятора прямує повітря з цієї виробки чи частини шахти. Так, наприклад (рис. 1.8), до зони впливу першого вентилятора належать гілки-виробки 2-3, 8-3 і 3-6. Відповідно, до зони впливу другого вентилятора належать гілки-виробки 2-4, 4-5 і 9-4.

До особливостей схем вентиляції з декількома вентиляторами головного провітрювання слід віднести наступне:

– збільшення опору шляхів зовнішніх підсмоктувань на одному вентиляторі може призвести до зменшення витрати повітря у зоні впливу іншого (-ших) вентилятора (наприклад, підвищення опору гілки 8-3, зменшить витрату повітря на ділянці 2-4 і, одночасно, підвищить зовнішні підсмоктування у вентилятора № 2);

– збільшення опору ділянки 2-3 у зоні впливу першого вентилятора призведе до зменшення опору «шахти» другого вентилятора (1-2-4), тобто, до зменшення загальної депресії маршруту 1-2-4 і підвищенню витрати повітря на ділянці 2-4 (у зоні впливу); одночасно зменшуються зовнішні підсмоктування повітря (на ділянці 9-4) і опір мережі другого вентилятора;

– підвищення опору загальної ділянки 1-2 підвищує взаємовплив вентиляторів, одночасно підвищуються зовнішні підсмоктування повітря обома вентиляторами;

– зміна робочої характеристики вентилятора (регулювання режиму роботи) «змінює» опір мережі всіх вентиляторів; опір мережі того вентилятора, який переводиться на вищу характеристику – зменшується, а всіх інших – підвищується (і навпаки);

– при зміні робочої характеристики вентилятора опір мережі «шахти», яка поєднана з цим вентилятором, змінюється більше ніж опір мережі вентилятора.

На шахтах з декількома вентиляторами головного провітрювання і декількома стволами зі свіжим повітрям аналіз наслідків регулювання можливий тільки за допомогою комп'ютерної моделі шахтної вентиляційної мережі.

На шахтах з декількома вентиляторами поняття параметрів режиму провітрювання шахти мають свою відмінність. Вона полягає в тому, що кожен із вентиляторів мовби працює на «свою особисту» мережу, хоча шахтна вентиляційна мережа загальна. Відповідно, скільки вентиляторів стільки і «мереж» шахти. Тому, параметри шахтної вентиляційної мережі (депресія, витрата повітря і опір) слід визначати пов'язуючи їх з кожним окремим вентилятором.

У загальному випадку можна стверджувати, що депресія окремого вентилятора витрачається на рух повітря в зоні його впливу, рух повітря в загальній зоні і подолання протидії інших вентиляторів у зоні впливу окремого вентилятора. Слід також враховувати наявність природної тяги, яка формується в вентиляційних контурах з різними стволами. Скільки вентиляторів, стільки ж і вентиляційних контурів (маршрутів) де формується природна тяга. Наприклад, на шахті з двома вентиляторам (рис. 1.8) і одним стволом зі свіжим повітрям, позитивна природна тяга формується в двох вентиляційних контурах. У контурі 1-2-3-8 формується одна тяга (h_{e1}), а у контурі 1-2-4-9 –інша (h_{e2}).

Побудова аеродинамічних характеристик опору мережі для кожної «шахти» чи вентилятора не має сенсу, адже на шахтах з декількома вентиляторам закон аеродинамічного опору (1.1) не виконується (характеристика опору мережі для кожного вентилятора може зміщуватися після зміни аеродинамічної характеристики вентиляторів, природної тяги, опору будь-якої дільниці шахти).

1.7 Вентиляційні з'єднання гірничих виробок

У вентиляційній мережі шахти можна виділити прості, комбіновані і складні вентиляційні з'єднання гірничих виробок. До простих відносять: послідовні, паралельні і діагональні з'єднання. Умовне зображення цих з'єднань показують за допомогою вузлів і гілок.

1.7.1 Послідовне з'єднання гілок вентиляційної мережі. У цьому з'єднанні кінець однієї гілки поєднується тільки з початком однієї іншої гілки. Прикладом такого з'єднання є виробки виїмкової дільниці (рис. 1.9). Гілки 1-2, 2-3, 3-4 поєднуються у вузлах 2 і 3.

Ознакою послідовного з'єднання є незмінність витрат повітря в усіх гілках, які входять у це з'єднання

$$Q_{noc} = Q_{1-2} = Q_{2-3} = \dots = Q_i,$$

де Q_{noc} – витрата повітря у послідовному з'єднанні гілок-виробок.

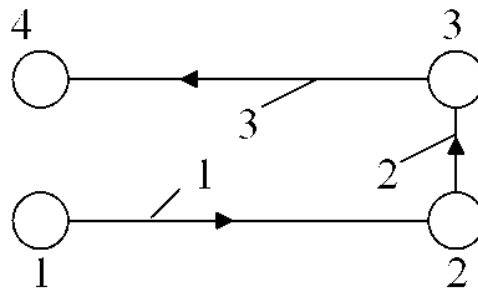


Рис. 1.9 – Схема послідовного з'єднання гілок

Депресія послідовного з'єднання гілок (h_{noc}) дорівнює сумі депресії усіх гілок, які входять у нього. Якщо надати кожні гілці свій особистий номер, то можна записати

$$h_{noc} = h_1 + h_2 + \dots + h_n = \sum_{i=1}^n h_i.$$

Аеродинамічний опір послідовного з'єднання гілок (R_{noc}) теж визначається як сума опорів окремих гілок

$$R_{noc} = R_1 + R_2 + \dots + R_n = \sum_{i=1}^n R_i.$$

1.7.2 Паралельні з'єднання гілок вентиляційної мережі. Просте паралельне з'єднання складається з двох гілок (рис. 1.10, гілки 1, 2). Їх «початки» і «кінці» поєднуються у двох різних вузлах (вузли 1, 2).

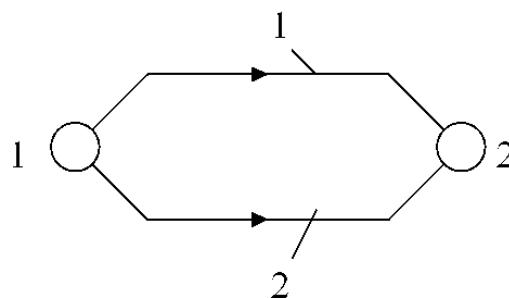


Рис. 1.10 – Схема простого паралельного з'єднання гілок

Витрата повітря у паралельному з'єднанні гілок (Q_{nap}) дорівнює сумі витрат у окремих гілках

$$Q_{nap} = Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n = \sum_{i=1}^n Q_i.$$

Депресія паралельного з'єднання гілок (h_{nap}) дорівнює депресії кожної гілки яка входить до складу паралельного з'єднання

$$h_{nap} = h_1 = h_2 = \dots = h_n. \quad (1.4)$$

Аеродинамічний опір паралельного з'єднання (R_{nap}), рахується за допомогою наступної формули

$$R_{nap} = \frac{1}{\left(\frac{1}{\sqrt{R_1}} + \frac{1}{\sqrt{R_2}} + \dots + \frac{1}{\sqrt{R_n}} \right)^2}.$$

Відношення витрат повітря і опорів гілок описує рівняння яке, відповідає закону рівності депресії гілок у паралельному з'єднанні (1.4) і закону опору гірничої виробки. Для паралельного з'єднання з двох гілок воно має такий вигляд

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \sqrt{\frac{R_2}{R_1}}.$$

Відношення витрат повітря у гілках простого паралельного з'єднання зворотно пропорційне кореню квадратному із відношення опорів цих гілок.

Складне паралельне з'єднання може мати необмежену кількість паралельних гілок.

1.7.3 Діагональні з'єднання гілок вентиляційної мережі. Просте діагональне з'єднання гілок є різновидом паралельного. Тобто, паралельні

гілки поєднані між собою додатковою гілкою (рис. 1.11). Просте однодіагональне з'єднання має чотири вузла і поєднує п'ять гілок.

Гілка, яка поєднує вузли 2 та 3, називається гілкою-діагоналлю. Напрямок руху повітря у діагоналі залежить від співвідношення опорів інших чотирьох гілок (R_1, R_2, R_3, R_4). Тому в деяких випадках їх називають «визначальними». Якщо повітря рухається із вузла 2 у вузол 3, то виконується нерівність

$$R_2 / R_1 > R_4 / R_3.$$

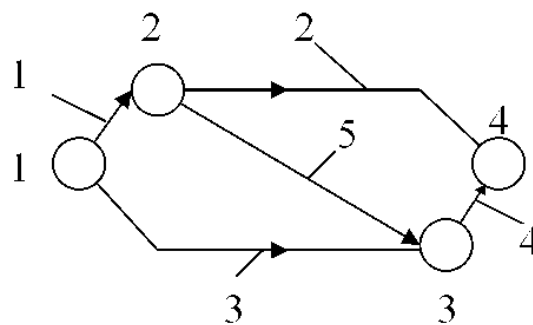


Рис. 1.11 – Схема діагонального з'єднання гілок

У протилежному випадку ($<$) повітря йде з вузла 3 у вузол 2. Напрямок руху у діагоналі не залежить від опору самої гілки-діагонали.

У загальному вигляді рівняння, що визначає опір діагонального з'єднання з однією діагоналлю, має такий вигляд

$$R_{d.з.} = 1 / \left(\frac{1}{\sqrt{R_1 + R_2 m^2}} + \frac{1}{\sqrt{R_3 + R_4 n^2}} \right)^2, \quad (1.5)$$

де m та n – коефіцієнти, які враховують співвідношення витрат повітря у з'єднанні з однією гілкою-діагоналлю.

Перший та другий коефіцієнти визначаються рівняннями

$$m = 1 - (Q_5 / Q_1), \quad (1.6)$$

$$n = 1 + (Q_5 / Q_3), \quad (1.7)$$

де Q_1, Q_5, Q_3 – відповідно, витрати повітря у гілках 1, 5 та 3.

У діагональному з'єднанні виконується співвідношення для витрат повітря властиве паралельному з'єднанню

$$Q_2/Q_4 = \sqrt{(R_3 + R_4 n^2)/(R_1 + R_2 m^2)}. \quad (1.8)$$

Можливе аналогічне формулі (1.5) симетричне рішення:

$$R_{\text{д.з.}} = 1 / \left(\frac{1}{\sqrt{R_1 M^2 + R_2}} + \frac{1}{\sqrt{R_3 N^2 + R_4}} \right)^2, \quad (1.9)$$

де M та N – коефіцієнти, які враховують співвідношення витрат повітря у з'єднанні з однією гілкою-діагоналлю.

$$M = 1 + (Q_5/Q_2); \quad N = 1 - (Q_5/Q_4),$$

де Q_2 та Q_4 – витрати повітря у гілках 2 та 4.

У такому варіанті «з'являється» паралельне з'єднання, де виконується співвідношення

$$Q_1/Q_3 = \sqrt{(R_3 N^2 + R_4)/(R_1 M^2 + R_2)}. \quad (1.10)$$

Загальним для діагонального з'єднання та еквівалентних йому (за опором) паралельних з'єднань є рівність депресії гілок.

Формули 1.5-1.10 можна використовувати для проектування діагональних з'єднань з наперед заданим (потрібним) співвідношенням витрат повітря (Q_2/Q_4 і Q_1/Q_3) і загальним опором.

1.7.4 Комбіновані вентиляційні з'єднання. До комбінованих з'єднань належать такі, що містять в собі одразу декілька простих з'єднань (рис. 1.12).

Реальні вентиляційні мережі містять у собі комбінації гілок які, неможливо віднести до простих з'єднань (рис. 1.13). Це складні з'єднання. Окремі частини шахтної вентиляційної мережі можна ідентифікувати як паралельно-послідовні і багатодіагональні з'єднання. На сучасних вугільних шахтах до гілок-діагоналей можна віднести 80 % усіх гілок.

Ознакою вентиляційного з'єднання є те, що воно поєднується з мережею тільки в двох вузлах. Такі частини шахтної мережі також називають вентиляційними ділянками.

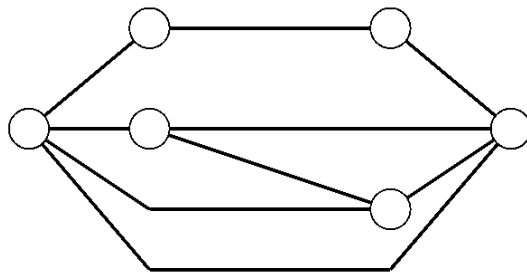


Рис. 1.12 – Схема комбінованого вентиляційного з'єднання

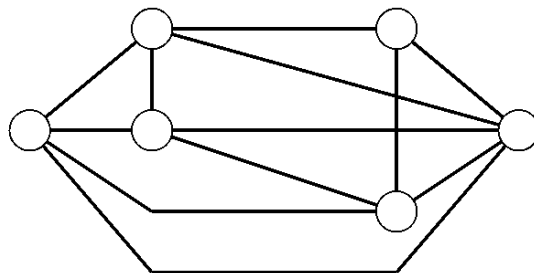


Рис. 1.13 – Схема складного вентиляційного з'єднання

1.8 Закони шахтної вентиляційної мережі

Сенс законів вентиляційної мережі пов'язаний з поняттями які описують структуру мережі: «вузол», «гілка» і «вентиляційний контур». У якості «вузла» вентиляційної мережі приймають сполуку гірничих виробок, а у якості «гілки» – саму гірничу виробку. Поняття про гілки, вузли і вентиляційні контури цілком умовні. Вони потрібні для ідентифікації частин вентиляційної системи в якості елементів вентиляційної мережі.

«Вентиляційний контур» складається із декількох гілок. Розрізняють елементарні (вічка) і «складні» вентиляційні контури. В середині елементарного контуру немає гілок. Складний контур вміщує у собі декілька елементарних контурів (вічок). Так, наприклад (рис. 1.14), елементарні контури складають гілки розташовані між вузлами 1, 2, 3, 4, 1 чи 2, 3, 6, 5, 2. При визначенні контуру напрямом «руху» (послідовність «переходу» від вузла до вузла) не має значення, але кожен контур повинен бути «замкненим». Тобто, з якого вузла починається «перехід», на тому він і повинен закінчуватися. Відповідно до цього прикладу, складним контуром є 1-2-3-6-5-4-1.

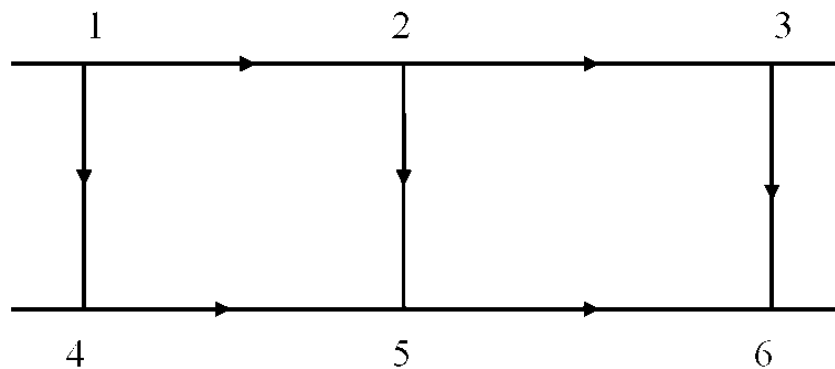


Рис. 1.14 – Схема вентиляційних контурів

Поняття «вентиляційний контур» цілком уявне і означає простір, який відокремлено від іншої частини мережі певною сукупністю гілок і вузлів.

Вентилятори і стволи входять у «відкриті» контури, тобто такі, у яких гілки «пов'язані» з поверхнею землі. Відкриті контури «замикають» уявними гілками через поверхню землі. Місце, де ствол перетинає поверхню землі, має назву «вузол поверхні землі».

У вентиляційній мережі, яка розглядається як «схема вентиляційних з'єднань», аеродинамічний опір «мають» тільки гілки. Вузли, на відміну від сполук, не розглядаються як місця, де відбуваються втрати тиску повітря.

Перший і другий закони вентиляційної мережі побудовані аналогічно законам Кірхгоффа для електричних ланцюгів. Інакше кажучи, вони узяті із

теорії електричних мереж і адаптовані для умов шахтних вентиляційних мереж.

Закони мереж, разом із закономірностями для вентиляційних з'єднань, дають уявлення про те, як розподіляється статичний тиск, депресія і витрати повітря у шахтній вентиляційній мережі, та як мережа реагує на вентиляційні збурення (зміна опору окремих гілок чи поява збудників руху повітря).

Перший закон мережі: *сума витрат повітря у вузлі дорівнює нулю*. Сенс цього закону полягає у тому, що витрата повітря яке «входить» у вузол вентиляційної мережі дорівнює витраті повітря яке «виходить» із вузла. Наприклад, якщо з вузлом 2 (рис. 1.14) пов'язані три гілки і повітря «входить» у вузол по гілці 1-2, то його витрата (Q_{1-2}) дорівнює витраті, що «виходить» із вузла по двох інших гілках ($Q_{2-3} + Q_{2-5}$). У загальному випадку перший закон мережі має такий вигляд

$$\sum_{i=1}^n Q_i = 0.$$

Закон відповідає дійсності для об'ємних витрат у разі, якщо густина повітря (ρ_i) в окремих гілках-виробках є однаковою. Якщо густина повітря у гілках різна, то треба рахувати масові витрати

$$\sum_{i=1}^n \rho_i Q_i = 0.$$

Другий закон мережі: *сума статичних депресій гілок у замкненому вентиляційному контурі дорівнює нулю*. Це означає, що визначати суму статичних депресій гілок у контурі слід з урахуванням напрямку руху повітря по виробках. Попередньо необхідно визначити напрямок обходу вентиляційного контуру – «відповідно» чи «проти» напрямку руху годинникової стрілки. Так, наприклад, якщо визначити за початок обходу контуру вузол 1 (рис. 1.14) і «рухатись» по ходу годинникової стрілки

маршрутом 1-2-5-4-1, то у гілці 1-2 і 2-5 напрямок руху повітря співпадає з напрямком обходу контуру. У цьому випадку вважаємо, що депресія цієї гілки має знак «+». У гілках 1-4 і 5-4 напрямок «обходу» контуру і напрямок руху повітря не співпадають – депресія має знак «-». Тоді можна записати

$$h_{1-2} + h_{2-5} - h_{5-4} - h_{4-1} = 0.$$

У загальному випадку (для об'ємних витрат) другий закон мережі має вигляд

$$\sum_{i=1}^m h_i = 0. \quad (1.11)$$

де h_i – статична депресія окремої гілки у вентиляційному контурі.

Другий закон мережі для масових витрат має вигляд

$$\sum_{i=1}^m R_i (\rho_i Q_i)^2 = 0.$$

Якщо у вентиляційному контурі діє якесь джерело енергії (вентилятор, природна тяга і т.п.), то другий закон мережі набуває такого вигляду (для об'ємних витрат):

$$\sum_{i=1}^m h_i \pm h_v = 0.$$

де h_v – статична депресія додаткового джерела енергії у вентиляційному контурі.

Другий закон мережі для масових витрат має такий вигляд

$$\sum_{i=1}^m R_i (\rho_i Q_i)^2 \pm h_v = 0.$$

Умовою виконання другого закону мережі є вимога: врахування втрат статичного тиску повітря в сполуках в депресії гілок-виробок.

Окрім законів, вентиляційна мережа має певні властивості. Вони пов'язані з реакцією мережі на вентиляційне збурення, яке виникає внаслідок дії природних чи штучних чинників.

Властивість вузла вентиляційної мережі: сума змін витрат повітря у вузлі вентиляційної мережі, при зміні витрати повітря в гілці, яка пов'язана з цим вузлом, дорівнює нулю

$$\sum \Delta Q_i = 0. \tag{1.12}$$

Властивість вузла пов'язана з першим законом мережі. Вона означає, що у випадку коли витрата повітря у якійсь гілці (рис. 1.15, гілка 3) зміниться (наприклад, внаслідок зміни опору гілки) від Q_3 до Q'_3 , то сума змін витрат повітря у інших гілках пов'язаних з цим вузлом (1, 2 чи 4, 5) буде дорівнювати цій зміні (ΔQ_3)

$$\Delta Q_3 = \Delta Q_1 - \Delta Q_2 = \Delta Q_5 - \Delta Q_4.$$

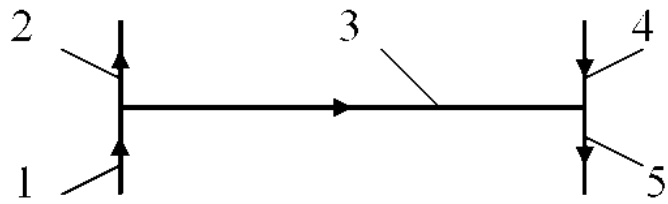


Рис. 1.15 – Схема з'єднання гілок у двох вузлах

Властивість вентиляційного контуру: сума змін статичної депресії в гілках вентиляційного контуру, внаслідок зміни депресії однієї з гілок цього контуру, буде дорівнювати нулю.

$$\sum \Delta h_i = 0. \tag{1.13}$$

Так, наприклад, при зміні депресії гілки 1-2 (рис. 1.16) внаслідок дії одного чи декількох чинників (Δh_{1-2}), сума змін депресії в інших гілках буде дорівнювати зміні депресії в гілці 1-2.

$$\Delta h_{1-2} = \Delta h_{2-5} + \Delta h_{5-4} + \Delta h_{4-1}.$$

У цьому випадку треба брати абсолютні (по модулю) величини змін. Але якщо брати не абсолютні величини, то треба написати так:

$$\Delta h_{1-2} + \Delta h_{2-5} + \Delta h_{5-4} - \Delta h_{4-1} = 0.$$

Тут зміни депресії гілок, що не співпадають з напрямком обходу контуру (напрямок обходу контуру співпадає з напрямком руху повітря гілки-регулятора), слід брати зі знаком «мінус».

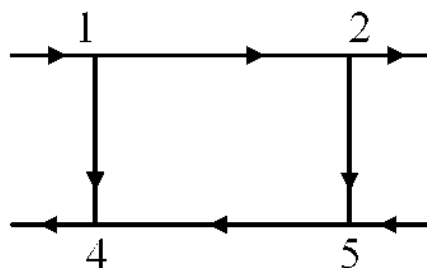


Рис. 1.16 – Схема вентиляційного контуру

З перших двох властивостей витікає загальна властивість вентиляційної мережі: при зміні режиму провітрювання будь-якої гілки вентиляційної мережі, внаслідок дії внутрішніх чинників, дія першого і другого законів мережі відновлюється автоматично.

Властивість затухання вентиляційного збурення у вентиляційній мережі: зміни витрати повітря і депресії у внутрішнім контурі передаються до зовнішніх вентиляційних контурів зі зменшенням величини змін.

Сенс поняття «затухання вентиляційного збурення» пов'язаний з поняттями «внутрішнього» і «зовнішнього» контурів. Уявний розподіл на

внутрішні і зовнішні контури у паралельно-послідовному з'єднанні (рис. 1.17) показує, що внутрішній контур є складовою частиною зовнішнього. Так, наприклад, вентиляційний контур 3-А-4-3 є «внутрішнім» по відношенню до контуру 2-3-4-5-2, а контур 2-3-4-5-2 по відношенню до нього – «зовнішній». У свою чергу контур 2-3-4-5-2 є внутрішнім по відношенню до контуру 1-2-3-4-5-6-1 і так далі.

Зміна витрати повітря у гілці А, внаслідок збільшення чи зменшення опору цієї гілки, буде більшою ніж у гілках 3-4, 2-5 і 1-6

$$\Delta Q_A > \Delta Q_{3-4} > \Delta Q_{2-5} > \Delta Q_{1-6}$$

В реальних шахтах на затухання вентиляційного збурення також впливає наявність виробленого простору, вірніше його зв'язків з гірничими виробками.

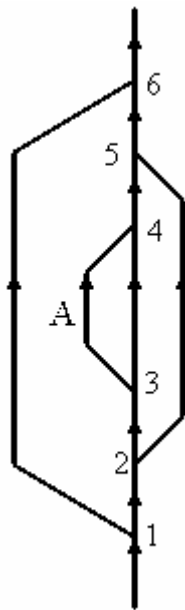


Рис. 1.17 – Схема паралельно-послідовного вентиляційного з'єднання

Розгалужена вентиляційна мережа діє як своєрідний «демпфер». Цей демпфер зменшує розповсюдження вентиляційного збурення у напрямку від внутрішніх до зовнішніх вентиляційних контурів. Тому, на шахті з розгалуженою мережею підвищення опору лави до ∞ (наприклад, внаслідок обвалення породи) ніяк не позначиться на витраті повітря у околоствольному

дворі чи на подачі вентилятора головного провітрювання. Вентиляційне збурення «загасне» у межах уклонного поля (панелі, крила і т.п.).

Наявність ефекту затухання вентиляційного збурення в мережі, дозволяє припустити, що існує певна зона, де можна визначити зміни витрат повітря. До такої зони належить сукупність виробок, в яких витрата повітря зміниться на величину більшу, ніж абсолютна похибка пристрою для вимірювання швидкості повітря. У деяких випадках зона затухання збурення може обмежитися виробками трьох-чотирьох контурів.

На відміну від змін у внутрішньому контурі, зміни (вентиляційні збурення) в гілках зовнішнього контуру можуть позначитися на всіх гілках внутрішніх контурів. З цим пов'язана наступна властивість вентиляційної мережі.

Властивість змін витрат повітря і депресії у вентиляційній мережі: при зміні загальної витрати повітря (Q_3) чи загальної депресії (h_3) вентиляційного з'єднання, внаслідок дії якихось чинників за межами цього з'єднання, витрата повітря (Q_i) і депресія (h_i) усіх гілок з'єднання змінюються пропорційно загальній зміні

$$Q_3 / Q'_3 = Q_i / Q'_i,$$

де Q'_3 і Q'_i – відповідно, змінена загальна витрата вентиляційного з'єднання і змінена витрата у окремій гілці вентиляційного з'єднання.

$$h_3 / h'_3 = h_i / h'_i,$$

де h'_3 і h'_i – відповідно, змінена загальна депресія з'єднання і змінена депресія окремої гілки вентиляційного з'єднання.

При наявності у вентиляційному з'єднанні джерела тяги, зміна витрати повітря і депресії в усіх гілках з'єднання відбувається непропорційно. Так, наприклад, якщо в паралельному з'єднанні (рис. 1.18) діє джерело тяги (природна тяга), то при зміні загальної витрати повітря (наприклад, внаслідок

регулювання режиму роботи вентилятора головного провітрювання) зміна витрати і депресії в гілках паралельного з'єднання буде різною. Теж саме відбувається на шахтах зі значним взаємовпливом вентиляторів.

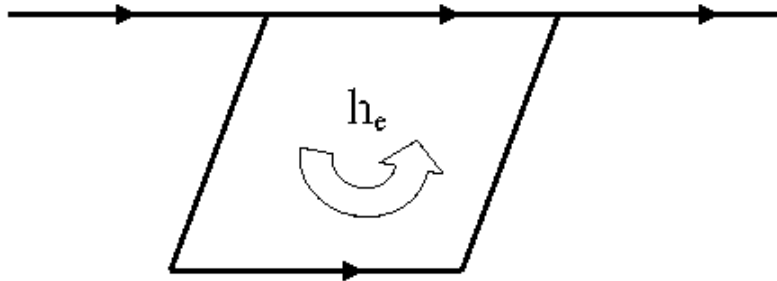


Рис. 1.18 – Схема паралельного з'єднання гілок

1.9 Характеристики чинників, які впливають на розподіл тиску і витрати повітря у вентиляційній мережі

Вплив окремих чинників на розподіл тиску і витрати повітря у мережі можна врахувати, якщо дію цих чинників можна описати у вигляді аеродинамічних характеристик чи аеродинамічних параметрів гірничих виробок.

До чинників, дію яких можна врахувати належать: природна тяга, падаюча вода і вугілля, теплова депресія пожежі, рух транспортних засобів, робота генератора піни чи генератора газу. Всі чинники можна умовно поділити на дві групи: активні і пасивні. До активних належать такі, дія яких може призвести до зміни напрямку руху вентиляційного струменю у виробці, а до пасивних належать такі, що можуть змінити тільки витрати повітря у виробці.

1.9.1 Природна тяга. Природна тяга формується у вертикальних і похилих виробках. Її характеристика має вигляд прямої лінії паралельної осі абсцис (рис. 1.19, лінія h_e).

Точка перетину А характеристики тяги з характеристикою опору (R) визначає витрату повітря (Q_e) у мережі.

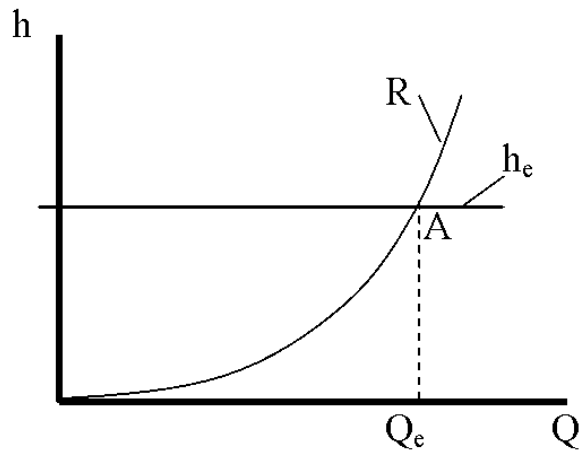


Рис. 1.19 – Характеристики опору і природної тяги

Визначення величини природної тяги. Природна тяга повсякчас формується у вентиляційному контурі, який вміщує дві похилі чи вертикальні виробки (рис. 1.20а, виробки 1-2 та 3-4).

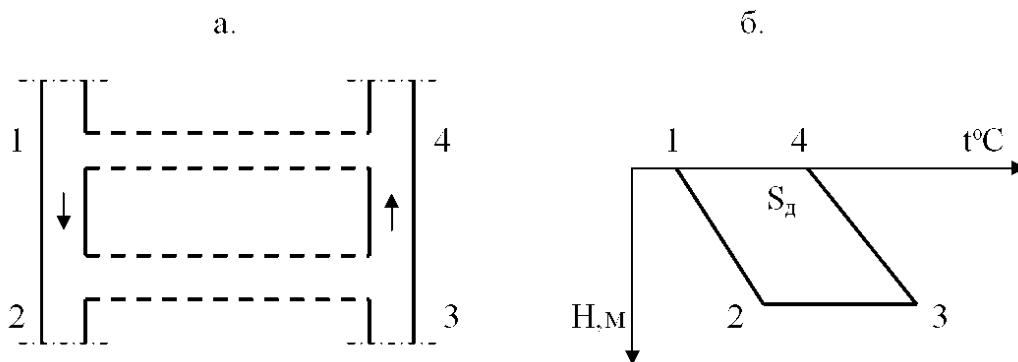


Рис. 1.20 – Схема вентиляційного контуру і розрахункова діаграма

Існують два методи визначення величини природної тяги: термодинамічний (метод О.Ф. Воропаєва) і гідростатичний.

У першому випадку необхідно побудувати діаграму (рис. 1.20б) з урахуванням масштабу в координатах: геодезична висота (м) – температура повітря (°С). Депресія природної тяги визначається по формулі

$$h_e = \frac{S_\phi}{T_u} \rho_{cp} g ,$$

де ρ_{cp} – середня густина повітря у похилих виробках;

S_{ϕ} – площа фігури;

T_u – абсолютна температура в центрі тяжіння фігури.

Температура повітря на початку і в кінці виробок вимірюється в шахті. Геодезичну висоту визначають висотні відмітки вузлів 1, 2, 3, 4 на рівні баласту (підшви) виробки.

Гідростатичним методом природна тяга (депресія), визначається як різниця статичних тисків двох стовпів повітря. Перший – між точками 1 і 2, а другий – між точками 4 і 3. Різниця тисків виникає якщо середня густина стовпів повітря різна (ρ_{1cp}, ρ_{2cp})

$$h_e = g(\rho_{1cp} - \rho_{2cp}) H,$$

де H – вертикальна висота стовпів повітря (1-2 та 4-3).

Спільна дія вентилятора і природної тяги. Спільну дію вентилятора і природної тяги показують за допомогою активізованої характеристики. Так, наприклад, якщо відома приведена характеристика шахти (рис. 1.21, лінія 1-1), характеристика опору мережі шахти (R_w) і характеристика природної тяги (h_e) яка сформована в шахтних стволах (у більшості випадків 80 % природної тяги формується у стволах), то можна визначити вплив природної тяги на режим провітрювання шахти.

Для побудови активізованої характеристики мережі шахти слід враховувати напрямок дії природної тяги. Якщо вона позитивна (дія природної тяги співпадає з напрямком дії вентилятора), то характеристику природної тяги (h_e) слід відняти (по ординатах) від характеристики мережі шахти (R_w). Активізована характеристика мережі з позитивною природною тягою має вигляд параболи зміщеною униз від початку координат ($R_{a.n.}$). Відповідно, активізована характеристика мережі з негативною тягою, буде виглядати, як парабола зміщена угору відносно початку координат ($R_{a.n.}$).

Режим провітрювання шахтної мережі у випадку дії позитивної природної тяги визначають координати точки А', а негативної – координати точки А".

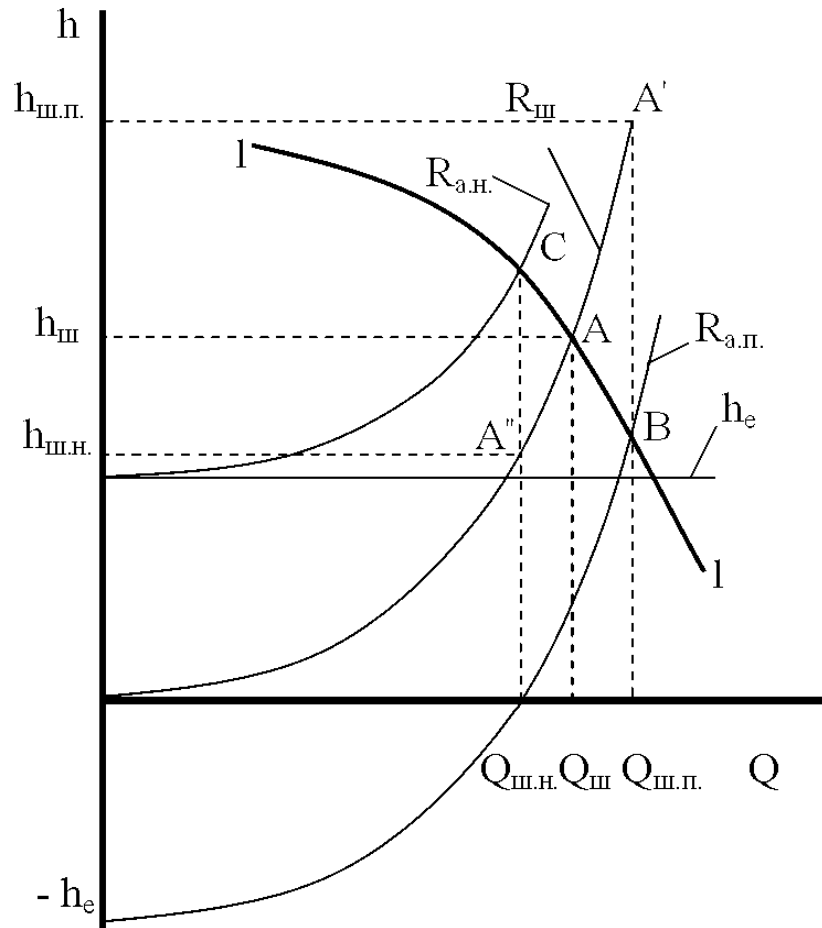


Рис. 1.21 – Визначення впливу природної тяги на режим вентиляції шахти

Якщо природна тяга дорівнює нулю, то за рахунок роботи вентилятора, витрата повітря у шахті буде дорівнювати $Q_{ш.}$. Позитивна природна тяга підвищує витрату повітря у шахтній мережі ($Q_{ш.н.}$), а негативна – зменшує ($Q_{ш.п.}$). Ордината точки А' показує величину загальної депресії шахти ($h_{ш.н.}$), а ордината точки В визначає депресію вентилятора, яка витрачається на провітрювання шахтної мережі, коли діє позитивна природна тяга. У цьому випадку можна вважати, що природна тяга частково заміщає дію вентилятора у мережі шахти. Відповідно, якщо природна тяга негативна, то частина депресії вентилятора витрачається на подолання її дії (відрізок С–А''), а частина (ордината точки А'') – на забезпечення руху повітря по шахтній мережі.

Врахування дії природної тяги шахти за допомогою активізованої характеристики мережі шахти, має сенс тільки у тому випадку, коли більше ніж 80 % тяги формується у шахтних стволах і ці стволи є частиною простого вентиляційного контуру (рис. 1.1). Інакше кажучи, дію природної тяги не

можна врахувати у окремій виробці. Треба щоб гілки-виробки, де вона формується (вертикальні чи похилі виробки), складали частину послідовного вентиляційного з'єднання (1-2-3-4) яке, в свою чергу є елементом замкненого вентиляційного контуру.

На шахтах де є декілька вентиляційних «горизонтів», природна тяга може формуватися у декількох простих вентиляційних контурах (відповідно кількості «горизонтів»). Так, наприклад, при наявності одного проміжного «горизонту» (рис. 1.22, гілка 2-5), природна тяга формується в двох вентиляційних контурах (h_{e1} , h_{e2}). В цих випадках оцінку впливу природної тяги на вентиляційні параметри шахтної мережі чи режим роботи вентилятора можна зробити тільки за допомогою комп'ютерної моделі.

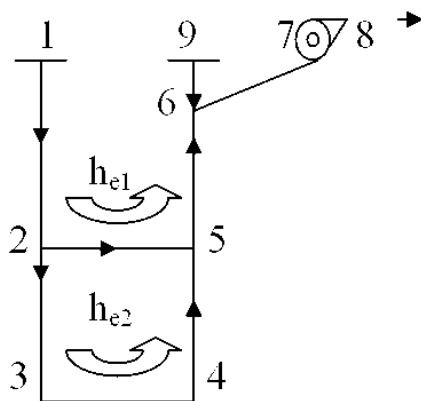


Рис. 1.22 – Спрощена схема вентиляції шахти з двома «горизонтами»

Дію природної тяги не можна враховувати зменшуючи чи підвищуючи аеродинамічний опір виробок у вентиляційному контурі де вона формується, адже при зміні напрямку руху повітря чи величини депресії природної тяги ці дії втрачають сенс. Депресію стволів чи ділянок стволів (1-2, 3-4, 4-5, 5-6) можна визначити тільки вимірюючи статичний тиск у вузлах 2, 3, 4, 5, 6 при працюючому і зупиненому вентиляторі (-рах) головного провітрювання.

1.9.2 Теплова депресія пожежі. Дію теплової депресії (h_m) показують аналогічно дії природної тяги, тобто за допомогою активізованої характеристики в одному вентиляційному контурі. «Механізм» виникнення теплової депресії пожежі такий же самий як і у природної тяги. Це різниця тиску двох стовпів повітря. Один – у похилій (вертикальній) аварійній

виробці з пожежними газами. Інший – у вертикальній чи похилій виробці, де повітря має природну температуру.

Характеристика теплової депресії (на якийсь проміжок часу) має вигляд прямої лінії паралельній осі абсцис.

1.9.3 Падаюча вода і вугілля. Характеристики падаючої води ($h_{n.в.}$) і вугілля ($h_{n.вуг.}$) у похилих (вертикальних виробках) мають вигляд однаковий з характеристикою природної тяги, але їх дію можна враховувати у окремій виробці. Тому, дію цього фактора теж можна аналізувати (показувати) за допомогою активізованих характеристик окремих виробок. У горизонтальних виробках дію падаючої води і вугілля можна враховувати як місцевий опір виробок, який частково перекриває переріз виробки.

1.9.4 Рух транспортних засобів. Вплив руху поїздів і конвеєрів на режим вентиляції окремої виробки можна визначити за допомогою активізованих характеристик.

Аеродинамічні характеристики транспортних засобів ($h_{з.м.}$) мають вигляд прямої лінії (аналогічно характеристиці природної тяги) для відповідної швидкості руху транспортного засобу. На діючій шахті кількісні показники впливу руху транспортних засобів на витрату і тиск повітря слід визначати експериментально в умовах конкретної виробки. Якщо поїзд чи конвеєр не рухаються, то їх вплив на розподіл повітря враховують відповідною зіною аеродинамічного опору виробок ($\Delta R_{з.м.}$).

1.9.5 Генератор піни. Піна перекриває частину перерізу виробки, тому опір гірничої виробки збільшується.

1.9.6 Генератор інертних газів (ГІГ). Генератори мають свої власні аеродинамічні характеристики схожі на характеристики вентиляторів. Тому їх дію у мережі можна врахувати як дію окремих вентиляторів.

Дію всіх згаданих чинників (окрім генераторів піни і транспортних засобів які не рухаються) можна порівнювати з дією вентиляторів. Наприклад, дію природної тяги у декількох контурах можна порівняти з одночасною дією декількох «вентиляторів» у вентиляційних контурах з

похилими виробками. Аеродинамічні характеристики активних чинників не залежать від того, діє чи ні вентилятор головного провітрювання.

Теоретичне підґрунтя врахування впливу окремих чинників на режим провітрювання мережі чи частини мережі описують за допомогою рівнянь приведеної і активізованої характеристик

$$\begin{aligned} h_a &= A_n - b_n Q_a^2, \\ h_a &= R_m Q_a^2 \pm h_{d,d}, \end{aligned} \quad (1.14)$$

де h_a і Q_a – відповідно, депресія і витрата повітря в мережі чи в її частині з урахуванням дії активного чинника;

R_m – аеродинамічний опір мережі (частини мережі) де сформувався чи діє активний чинник;

A_n і b_n – коефіцієнти приведеної характеристики мережі (частини мережі);

$h_{d,d}$ – додаткова депресія, яка враховує дію активного чинника.

Змінений режим провітрювання мережі чи її окремого елемента, визначається після спільного рішення двох рівнянь (1.14). Нову витрату повітря визначає формула

$$Q_a = \sqrt{\frac{A_n \pm h_{d,d}}{R_m + b_n}},$$

а нову депресію визначає формула

$$h_a = \frac{A_n \pm h_{d,d}}{1 + b_n / R_m} \pm h_{d,d}.$$

1.10 Загальні засади регулювання розподілу повітря у вентиляційній мережі

Необхідність регулювання розподілу повітря пов'язана з постійними змінами структури вентиляційної мережі, тобто появою нових виробок,

погашенням виробок які вже не потрібні, потребою зміни напрямку руху вентиляційних потоків в окремих частинах шахтної мережі чи зміною витрат повітря в окремих виробках.

У загальному випадку слід відрізнити загальношахтне і «місцеве» регулювання розподілу повітря. Загальношахтне пов'язане зі зміною робочої характеристики вентилятора, зміною опору каналу вентилятора, підвищенням опору шляхів «зовнішніх» підсмоктувань повітря. Наслідком такого регулювання є зміни режиму провітрювання усіх виробок шахти.

Місцеве регулювання пов'язане з необхідністю скоротити чи підвищити витрату повітря у окремих виробках, виїмкових полях чи виїмкових дільницях. У деяких випадках місцеве регулювання може бути пов'язане зі зміною напрямку руху повітря в окремій частині шахти.

Розрізняють два поширені способи регулювання: позитивне і негативне. Позитивне пов'язане зі зменшенням опору виробки, а негативне зі збільшенням опору виробки.

Зменшення опору гірничої виробки можливе (крім випадків підвищення площі перерізу за рахунок перекріплення) якщо у виробці вже є якась вентиляційна споруда (вентиляційні двері, перемичка, вентиляційне «вікно» чи вентиляційний шлюз). Після відкривання дверей, збільшення перерізу вентиляційного «вікна», видалення перемички, витрата повітря у цій виробці підвищиться.

При негативному регулюванні у виробці встановлюють чи будують відповідні вентиляційні споруди, і витрата повітря в ній зменшується.

У загальному випадку існує чотири варіанти регулювання. При позитивному регулюванні:

- зменшення опору виробки-регулятора (виробка в якій встановлено вентиляційний регулятор) для підвищення витрати повітря в самій виробці-регуляторі (виробка-регулятор і об'єкт регулювання співпадають);

- зменшення опору регулятора для зменшення витрати повітря в якійсь суміжній паралельній виробці (об'єкті регулювання) чи частині шахти.

При негативному регулюванні:

– збільшення опору виробки-регулятора для зменшення витрати повітря в цій виробці (виробка-регулятор і об'єкт регулювання співпадають);

– збільшення опору регулятора для підвищення витрати повітря в якійсь суміжній паралельній виробці чи частині шахти.

Так, наприклад, якщо регулятор (закриті вентиляційні двері чи «вікно») встановлено в гілці А (рис. 1.23), то зменшення його опору (позитивне регулювання) призведе до підвищення витрати повітря у гілці А і зменшенню витрати в паралельній гілці 3-4. При негативному регулюванні (у гілці А регулятора немає) установка регулятора зменшить витрату повітря в гілці А і підвищить витрату повітря в гілці 3-4.

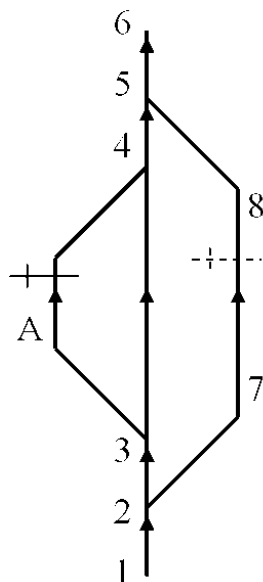


Рис. 1.23 – Схема ділянки вентиляційної мережі

Якщо, подивитися в цілому на паралельне з'єднання 3-4, то позитивне регулювання в гілці А призведе до збільшення витрати повітря в усьому з'єднанні (витрата повітря в гілці 2-3 чи 4-5 збільшиться). При збільшенні опору гілки 3-4 загальна витрата повітря в паралельному з'єднанні зменшиться.

При регулюванні існують певні особливості зміни режиму провітрювання паралельних і послідовних з'єднань. У паралельному з'єднанні зменшення опору окремих гілок призводить до однакового зменшення депресії усіх його гілок і, відповідно, всього паралельного

з'єднання. Однакове підвищення депресії всіх гілок відбувається при підвищенні опору якоїсь однієї гілки.

У послідовному з'єднанні підвищення опору однієї гілки (7-8) призведе до однакового зменшення витрати повітря в усіх його гілках (2-7, 7-8, 8-5) і, в той же час, депресія гілки-регулятора (7-8) підвищиться, а в інших двох гілках зменшиться (відповідно зменшенню в них витрати повітря).

Загальні особливості регулювання пов'язані з особливістю формування приведених характеристик гілок у паралельних і послідовних з'єднаннях.

Наприклад, у простому паралельному з'єднанні з двох гілок (рис. 1.10) параметри приведеної характеристики кожної з гілок залежать від співвідношення опорів цих гілок. Особливості формування цих характеристик і режиму провітрювання гілок паралельного з'єднання можна показати за допомогою графоаналітичного методу.

Так, якщо ми маємо приведену характеристику паралельного з'єднання з двох гілок (рис. 1.24, лінія 1) і характеристики опору обох гілок (лінії R_1 , R_2), то можна побудувати приведені характеристики окремих гілок (лінії 2, 3) і визначити режими їх вентиляції.

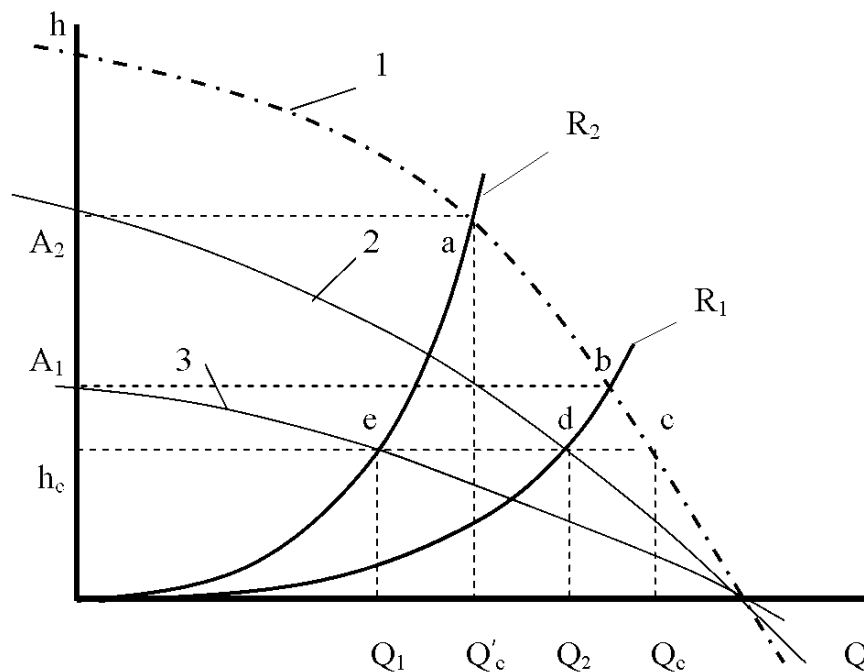


Рис. 1.24 – Формування режиму провітрювання паралельного з'єднання

Для побудови приведеної характеристики гілки R_1 (лінія 3) необхідно відняти (по абсцисах) характеристику опору іншої гілки (R_2) від приведеної характеристики паралельного з'єднання (лінія 1). Точка пересікання параболи R_2 з характеристикою 1 визначає параметр A_2 приведеної характеристики гілки R_1 .

Фізичний сенс параметру (A_2) – максимально можлива депресія гілки R_1 . Інакше кажучи, це депресія виробки R_1 яка має опір ∞ . Тобто, це виробка в якій установлена абсолютно щільна перемичка і витрата повітря дорівнює нулю. Теж саме можна пояснити іншим способом. Припустимо, що є якась гілка (рис. 1.25, гілка 2-3) майбутнього паралельного з'єднання. Другої гілки (2-а-3) ще немає, але вона теж з'єднає між собою вузли 2 та 3.

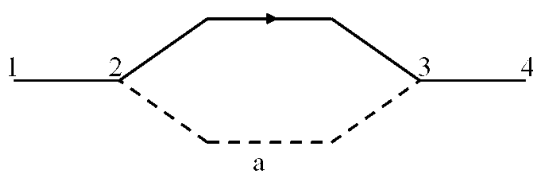


Рис. 1.25 – Схема вентиляційного з'єднання

Доки виробка 2-а-3 не пройдена, її максимальна депресія буде дорівнювати депресії гілки 2-3.

Режим провітрювання кожної гілки визначають координати точки пересікання приведеної характеристики і характеристики опору. У паралельному з'єднанні (рис. 1.24) це координати точок «е» і «d». Режим провітрювання паралельного з'єднання визначають координати точки «с».

Різниця абсцис точок (е) і (а) для гілки R_2 показує теоретичні межі негативного регулювання за рахунок підвищення опору гілки R_1 до $R'_1 = \infty$, а різниця абсцис точок (с) і (а) – теоретичну величину зменшення витрати повітря у паралельному з'єднанні при $R'_1 = \infty$. Отже, зменшення витрати повітря у гілці R_1 з Q_2 до нуля призведе до підвищення витрати повітря у гілці 2 з Q_1 до Q'_c . У той же час загальна витрата повітря паралельного з'єднання Q_c зменшиться до Q'_c . Зміни витрат повітря в паралельному

з'єднанні при регулюванні, відповідають властивості вузлів (1.12) – сума змін витрат повітря у вузлі дорівнює нулю

$$|\Delta Q_c| - |\Delta Q_1| - |\Delta Q_2| = 0.$$

Зміни депресії виробок у паралельному з'єднанні при регулюванні відповідають властивості вентиляційних контурів (1.13). Тобто, сума змін депресії у вентиляційному контурі з двох гілок дорівнює нулю

$$\Delta h_1 = \Delta h_2.$$

Визначення необхідного опору регулятора. На практиці, якщо параметри приведеної характеристики невідомі, не можна передбачити наперед, на скільки зміниться витрата повітря у гілці-регуляторі.

Припустимо, що гілка мережі має приведену характеристику у вигляді лінії 1 (рис. 1.26).

Нормальний режим вентиляції гілки (h_A, Q_A) визначають координати точки А пересікання приведеної характеристики і характеристики опору (R). При підвищенні опору гілки (R_i), після встановлення якогось регулятора (вентиляційні двері чи «вікно»), витрата повітря у виробці зменшується ($Q_в$), а статична депресія зростає ($h_в$).

Якщо приведена характеристика (лінія 2) має менший нахил, то новий режим провітрювання будуть визначати координати точки С (h_c, Q_c). Отже, без попереднього визначення параметрів приведеної характеристики виробки, де буде встановлено регулятор не можна визначити необхідний опір регулятора ($R_p = R_i - R$). Це дозволяє зробити висновок, що існуючі формули для визначення опору вентиляційного вікна містять похибку, бо не враховують вплив мережі (приведену характеристику) на режим провітрювання окремої гілки і втрату депресії на подолання опору вентиляційного вікна.

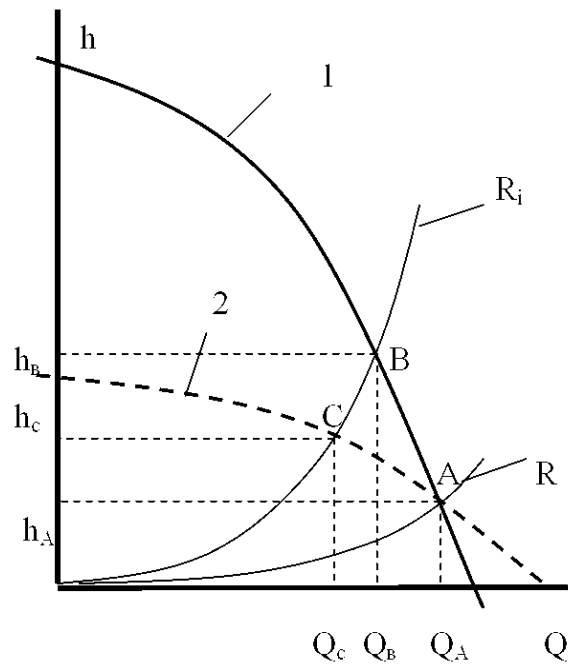


Рис. 1.26 – Визначення режиму роботи вентилятора

У більшості випадків приведена характеристика має вигляд параболи чи прямої лінії

$$h = A - b Q^2,$$

$$h = A - b Q,$$

де A, b – параметри приведеної характеристики гілки.

Параметри приведеної характеристики можна визначити експериментально за допомогою легкої перемички (з брезенту чи з поліетиленової плівки) або за допомогою комп'ютерної моделі вентиляційної мережі. Спочатку визначають нормальний режим провітрювання виробки (рис. 1.27, координати точки А), тобто вимірюють її депресію (h_A) і витрату повітря (Q_A). Потім встановлюють легку перемичку перекриваючи 0,5 площі перерізу виробки (точка В) і вимірюють депресію перемички (h_B) та витрату повітря (Q_B). Ті ж самі виміри (точка С) роблять після перекриття перерізу на 75 % (h_C, Q_C). Координати точок А, В, С наносять на графік і поєднують плавною лінією. Параметр b для параболи визначається за допомогою формули

$$b = (h_B - h_A) / (Q_A^2 - Q_B^2),$$

а для прямої лінії використовують наступну формулу:

$$b = (h_B - h_A) / (Q_A - Q_B).$$

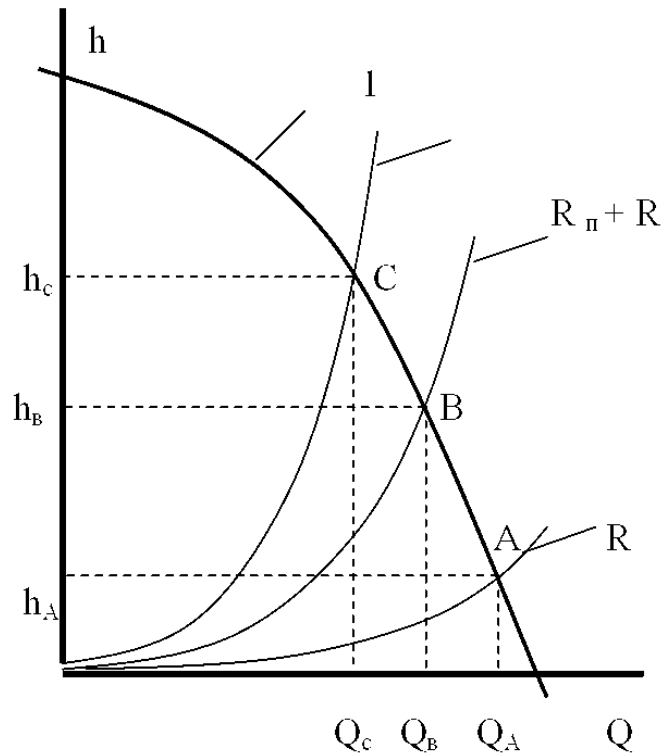


Рис. 1.27 – Визначення параметрів приведеної характеристики

Параметр А визначають використовуючи такі формули:

$$A = h_A + b Q_A^2,$$

$$A = h_A + b Q_A.$$

Депресію гілки з регулятором визначає формула

$$h_e = (h_A / Q_A^2 + h_p / Q_B^2) Q_B^2,$$

де h_p – депресія регулятора.

Потрібний (необхідний) опір регулятора (приведена характеристика має вигляд параболи) визначають за допомогою формули

$$R_p = (A / Q_n^2) - b - (h_A / Q_A^2),$$

де Q_n – необхідна витрата повітря у виробці після регулювання.

На газових шахтах III-IV категорії перекриття перерізу виробки може призвести до зменшення витрати повітря у підготовчих чи виїмкових вибоях, що неприпустимо. У цих випадках питання регулювання необхідно вирішувати за допомогою комп'ютерної моделі шахтної вентиляційної мережі.

2 АЕРОЛОГІЯ ГІРНИЧИХ ВИРОБОК

2.1 Загальні положення

Гірничу виробку є головним елементом шахтної вентиляційної системи. Сукупність гірничих виробок та камер складає підземну частину шахти. У гірничих виробках та камерах розташовані усі системи, які забезпечують працездатність шахти. Наявність систем транспорту, енергоживлення, дегазаційних трубопроводів, пересувних агрегатів і трубопроводів системи охолодження, відкритих пожежних дверей, вогнегасників, сланцевих чи водяних заслонів, вентиляційних трубопроводів, вугледобувних і інших механізмів підвищує аеродинамічний опір гірничих виробок і зменшує витрату повітря в них.

У гірничій справі існує загальне поняття про «гірничу виробку» як порожнину у масиві гірничих порід. Воно не зовсім прийнятне у тому випадку, коли вентиляційна система розглядається як мережа. Так, наприклад, навіть якщо виробка складається з декількох частин (тобто має декілька сполук з іншими виробками), про неї все одно кажуть як про окрему частину шахти. Сукупність цих частин має загальну назву. Більш прийнятним, з точки зору аерології мережі, є таке формулювання: гірничу виробку – частина шахтної вентиляційної системи з визначеною довжиною, перерізом та аеродинамічним опором, яка розташована між двома найближчими сполуками.

2.2 Фізичні і аеродинамічні кордони гірничої виробки

Поняття «початок» і «кінець» гірничої виробки (з точки зору аерології) є цілком умовні. Вони пов'язані з поняттями «сполука» і «довжина» гірничої виробки, а також з напрямком руху повітря по виробці.

Сполука – це місце з'єднання (пересікання) декількох гірничих виробок (рис. 2.1). Наприклад, простір сполуки трьох виробок (1, 2, 3) які мають

закруглення на кінцях (окрім фізичних меж) умовно обмежують три лінії (a-a, b-b, c-c) в місцях де закінчується сполука.

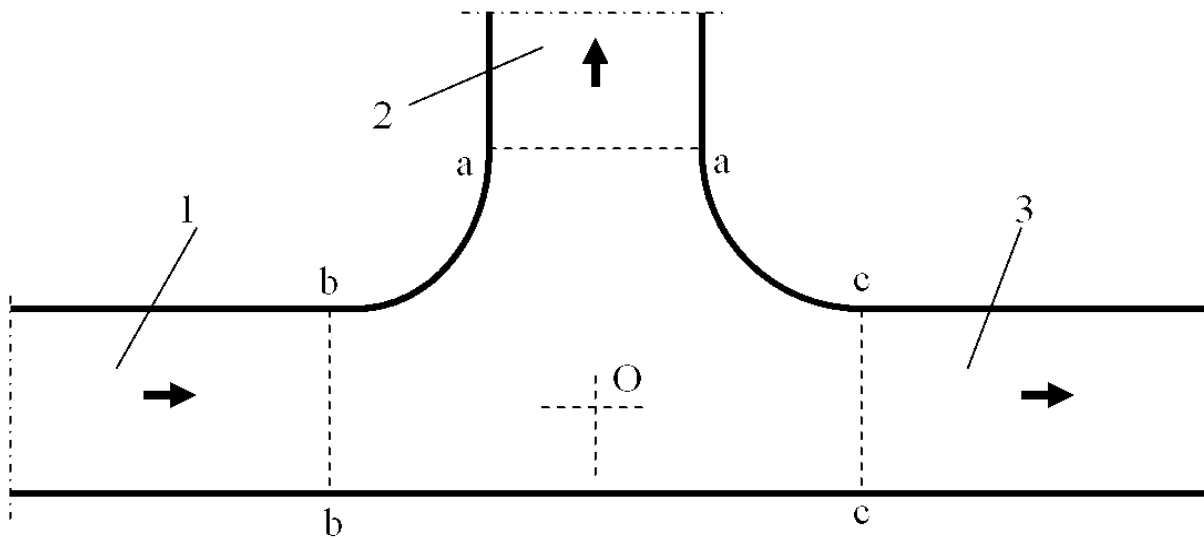


Рис. 2.1 – Місце з'єднання трьох виробок чи частин виробок

Місце пересікання гірничих виробок чи сполука виробок, не є виробкою. Такої назви нема у переліку типів гірничих виробок. У той же час, це не просто місце з'єднання виробок. В аерології ці місця відносять до так званих «місцевих опорів». Тобто, до місць, де відбуваються додаткові втрати тиску повітря.

Не слід плутати поняття «початок» чи «кінець» гірничої виробки з устям виробки. Устя мають тунелі, стволи та штольні. Устя можна вважати початком (кінцем) гірничої виробки тільки у випадку, коли ця виробка перетинається з площиною поверхні землі. У той же час, устя – це не переріз чи точка у місці пересікання гірничої виробки з поверхнею землі. Устям вважається частина ствола (штольні) довжиною 10-20 метрів, починаючи від поверхні землі.

Сполука виробок належить до місцевих опорів (у гідравліці такі опори називають трійниками і хрестовинами). У цих місцях виникає збурення вентиляційного струменя. Наслідками виникнення збурення є додаткові втрати статичного тиску (депресії) на розподіл повітря в сполуках.

Існує протиріччя між сталим поняттям «гірничка виробка» (порожнина у породах) і визначенням «кордонів» гірничої виробки. Фізичні кордони виробки, з точки зору аерології, обмежені початковим і кінцевим перерізами між найближчими сполуками. Тобто, це місця де закінчується закруглення найближчих сполук (рис. 2.1, лінії a-a, b-b, c-c). Щоб відрізнити цю довжину від тієї, що формує замкнені вентиляційні контури, введемо у обіг поняття «фізична» і «аеродинамічна» довжина виробки.

Поняття «аеродинамічної» довжини визначає таку довжину гірничої виробки, до якої віднесено всі втрати тиску повітря пов'язані з рухом повітря по окремій виробці чи її частині. Таким чином, втрати тиску в сполуках розглядаються не як окремі частини, а поєднуються з втратами тиску в гірничих виробках. У цьому випадку, точка перетину осей виробок у сполуці (рис. 2.1, точка O на почві чи підшві сполуки) є аеродинамічним «кінцем» виробки 1 і, у той же час, аеродинамічним «початком» виробок 2 і 3. Такий підхід дає змогу «замкнути» вентиляційний контур і зрозуміти, що депресія виробки – це різниця статичного тиску повітря між точками перетину осей виробок у сполуках на рівні почви.

Відповідно такому уявленню про вентиляційну мережу, виміри депресії виробок необхідно робити між точками, де вимірюється аеродинамічна (рис. 2.2, довжина L_{3-2}), а не фізична довжина ($L_{3'-2'}$). Точки, між якими вимірюється депресія, співпадають з точками, між якими вимірюється аеродинамічна довжина гірничих виробок (окремих частин чи ділянок виробок). Тільки при такому вимірюванні депресії виробок можна казати про виконання другого закону мережі (1.11). Тільки тоді, відповідно до схеми на рис. 2.2, можна вважати (для горизонтальних виробок), що сума депресій у вентиляційному контурі 1-2-3-4-1 дорівнює нулю.

Вищенаведене дає змогу визначити поняття, які характеризують деякі геометричні і аеродинамічні кордони гірничої виробки.

Фізична довжина гірничої виробки (L_{ϕ}) – відстань між початковим і кінцевим перерізом чи уявними лініями в місцях сполук, де закінчуються закруглення (при наявності закруглень).

Аеродинамічна довжина гірничої виробки (L_a) – відстань між точками перетину осей гірничих виробок чи їх частин у двох найближчих сполуках на рівні почви.

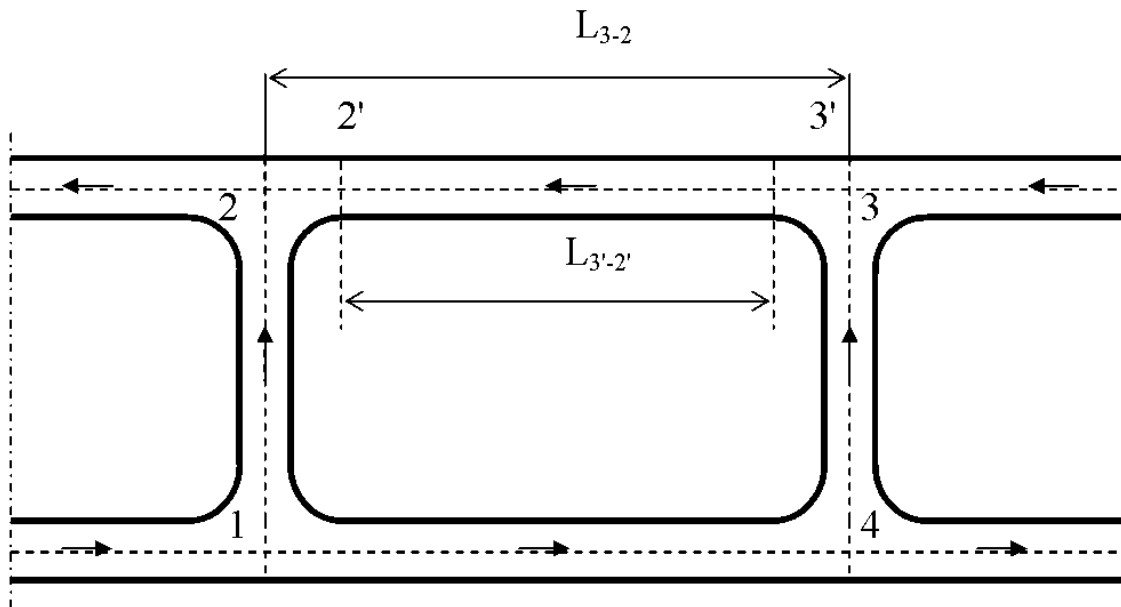


Рис. 2.2 – Схема сполучення гірничих виробок у вентиляційному контурі

Поняття «початок» і «кінець» для гірничих виробок також пов’язані з напрямком руху повітря. Після зміни напрямку руху повітря, «початок» і «кінець» міняються місцями.

Фізичний початок гірничої виробки – уявна лінія чи переріз, у місці де, закінчується закруглення сполуки (при наявності закруглень), і повітря входить у гірничу виробку.

Фізичний кінець гірничої виробки – уявна лінія чи переріз, у місці де, починається закруглення сполуки (при наявності закруглень), і повітря виходить із гірничої виробки.

З точки зору аеродинаміки «початок» виробки – це точка перетину осей виробок у сполуці (на рівні почви чи підшви), де повітря входить у гірничу виробку, а «кінець» – точка перетину осей виробок (на рівні почви чи підшви) у тій сполуці, де повітря виходить з тієї ж виробки.

Вищенаведене дозволяє сформулювати умову виконання другого закону мережі: другий закон мережі виконується тільки в тому випадку, якщо

втрати статичного тиску в сполуках гірничих виробок враховані у депресії відповідних гілок-виробок.

2.3 Режим вентиляції гірничої виробки

Депресію, витрату повітря і аеродинамічний опір об'єднує загальна назва – аеродинамічні параметри гірничої виробки.

Режим вентиляції гірничої виробки характеризують, два параметри: статична депресія (h) – різниця статичного тиску повітря між початком і кінцем виробки і витрата повітря (Q). Ці параметри пов'язані між собою законом опору (1.1).

Усі можливі режими вентиляції виробки (при зміні її опору від 0 до ∞) знаходяться на приведеній характеристиці виробки.

Режим вентиляції (h , Q) кожної гірничої виробки, вентиляційної дільниці, шахти чи режим роботи вентилятора можна визначити як координати точки (рис. 2.3, точка А) перетину аеродинамічної ($R = h/Q^2$) і приведені характеристик (лінії 1 та 2). Окрім того, до поняття «режим провітрювання» входить напрямок руху повітря у виробці. Напрямок руху повітря, який передбачено технологією видобутку вугілля, прийнято називати «нормальним».

Усі режими вентиляції гірничої виробки можна показати на графіках у системі координат h (Па) і Q (м³/с). Осі координат поділяють площину зображення на чотири частини – квадранти (рис. 2.3). Нормальний режим провітрювання гірничої виробки показують у першому (I) квадранті (точка А). У другому (II), третьому (III) і четвертому (IV) квадрантах показують аварійні вентиляційні режими. Так, наприклад, у третьому квадранті показують реверсивний режим провітрювання виробки (точка В). У четвертому – перекидання вентиляційного струменя у похилій (вертикальній) аварійній виробці за рахунок протидії в ній (чи у вентиляційному контурі до якого вона входить) якогось локального джерела енергії (теплова депресія пожежі, природна тяга, падаюче вугілля чи вода).

Напрямок дії цього джерела протилежний напрямку нормального руху повітря.

У другому квадранті показують аварійні режими вентиляції похилої виробки, коли напрямок дії локального джерела енергії співпадає з нормальним напрямком руху повітря. Можна вважати, що у цьому випадку, дія локального джерела енергії «заміщає» дію вентилятора (-рів) головного провітрювання у похилій аварійній виробці (чи вентиляційному контурі з цією виробкою), а порушення вентиляційного режиму (наприклад, перекидання вентиляційного струменя) відбувається тільки у виробках, які є суміжні з аварійною виробкою.

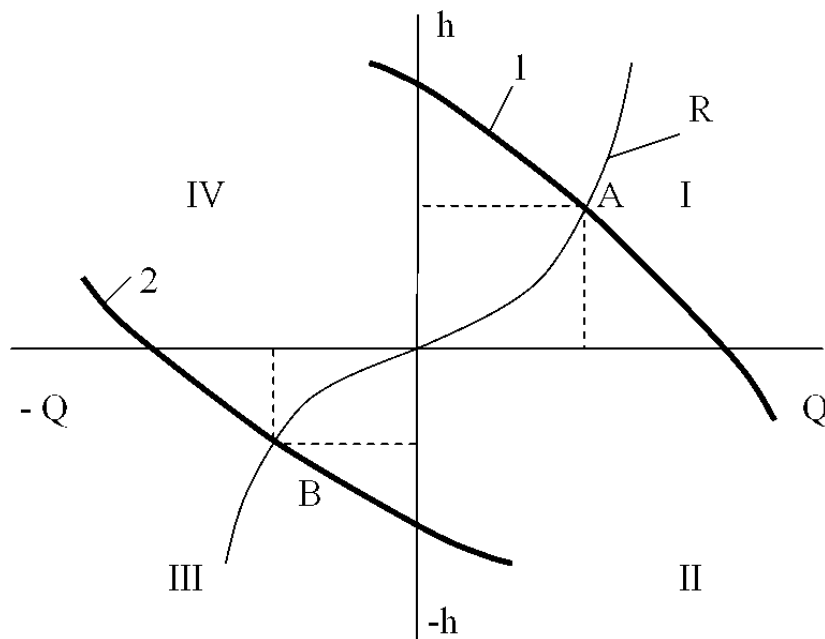


Рис. 2.3 – Визначення вентиляційних режимів у квадрантах

2.4 Аеродинамічний опір гірничої виробки

У загальному випадку аеродинамічний опір виробки може складатися з трьох видів опору: опір тертя повітря о кріплення гірничої виробки, місцевих і лобових опорів. Цей розподіл враховують тільки під час проектування шахти, нових дільниць чи виробок діючої шахти.

Величина опору тертя (R_m) залежить від геометричних розмірів виробки, форми перерізу, типу кріплення і густини повітря. Під час проектування шахти ці параметри враховують за допомогою коефіцієнта аеродинамічного опору (α – «альфа»).

Емпірична формула для розрахунку опору тертя повітря о «поверхні» виробки має такий вигляд:

$$R_m = \alpha L P / S^3, \quad (2.1)$$

де L – довжина виробки;

P – периметр виробки;

S – площа перерізу виробки.

Коефіцієнти аеродинамічного опору (α) для різних виробок наводяться у довідниках.

Формула (2.1) використовується для приблизного розрахунку аеродинамічного опору гірничих виробок. В умовах діючої вугільної шахти вона може використовуватись у тому випадку, коли аеродинамічні показники режиму провітрювання виробок (h , Q) чомусь не можна виміряти. Похибка розрахунків по цій формулі на діючих шахтах складає, в середньому, до 30 %, а у деяких випадках (наприклад, у виробках довжиною до 100 метрів) може сягати 100 %. Головною причиною таких похибок є те, що ця формула не враховує наявність у реальних виробках місцевих і лобових опорів (у вертикальних стволах лобові опори враховує коефіцієнт α).

До місцевих опорів відносяться повороти виробки, місця зменшення площі перерізу і місця перетину виробок (сполуки виробок).

До лобових опорів відносять поодинокі стійки кріплення, які стоять у перерізі виробки (наприклад, додаткове кріплення виробки у місці сполуки штреку і лави) чи обладнання, яке зменшує переріз виробки. До особливих місцевих опорів відносять опір поодиноких чи поєднаних у поїзди шахтних вагонів.

Одним із видів місцевого опору є «лінійні» опори. До таких можна віднести опір обладнання, яке розташоване по всій довжині гірничої виробки: вентиляційні, дегазаційні, водяні і інші трубопроводи; конвеєри і електричні кабелі. Їх наявність враховують зменшенням площі перерізу виробки на відповідну величину. Наприклад, наявність стрічкового конвеєру можна врахувати зменшуючи площу перерізу виробки на $0,2 \text{ м}^2$.

Одиниця аеродинамічного опору у системі СІ – $\text{Па}\cdot\text{с}^2/\text{м}^6$. На шахтах також використовують застарілу одиницю виміру – «кіломюрґ» (кμ).

На практиці аеродинамічний опір виробки обчислюють (формула 1.3) по результатах виміру депресії виробки (або частини виробки між сполуками) і витрати повітря, не виділяючи якийсь окремий вид опору.

2.5 Аеродинамічна структура гірничої виробки

Кожну гірничу виробку можна умовно поділити на три зони: вхід, вихід і робочу зону. Поняття «вхід» пов'язане з «початком», а «вихід» з «кінцем» гірничої виробки. Ці поняття є цілком умовні тому, що після зміни напрямку руху повітря міста розташування «початку» і «кінця» виробки змінюються на протилежні. Тобто, вони пов'язані тільки з напрямком руху вентиляційного струменя.

В аерології гірничих виробок сенс понять «вхід», «вихід» і «робоча» зона пов'язані з наявністю сполук між гірничими виробками (рис. 2.4).

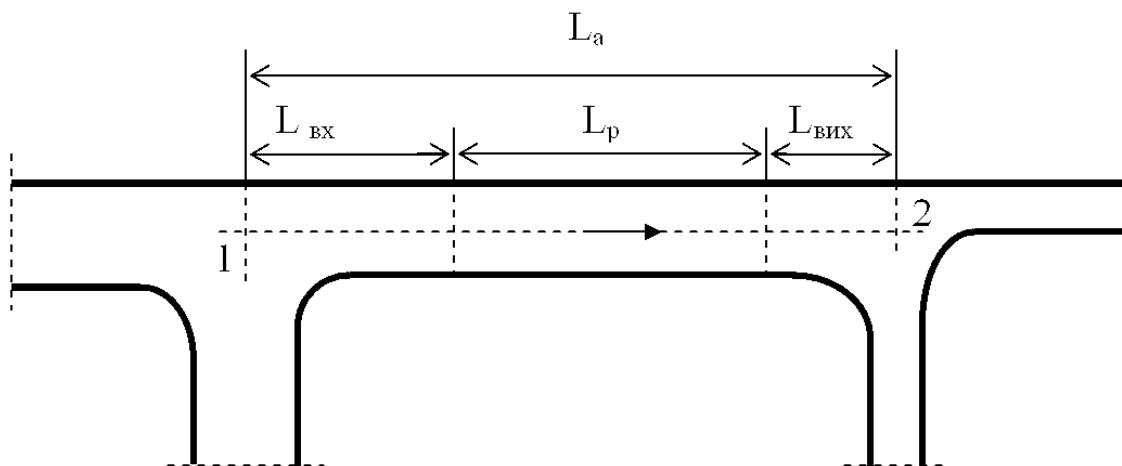


Рис. 2.4 – Схема аеродинамічної структури гірничої виробки

Вхід (його довжина дорівнює $L_{вх}$) – це частина виробки, де рух повітря стабілізується після збурення у місці сполуки виробок. У робочій частині (довжиною L_p) йде стабілізований вентиляційний потік, тобто епюра швидкостей повітря (по ширині) симетрична відносно вісі виробки. На виході (довжиною $L_{вих}$), перед черговим збуренням потоку у іншій сполуці, знов відбувається деформація поля швидкостей. Кожна зона має свої межі. Вхід сягає до $10 \div 12 b$, мінімальна робоча частина виробки – до $5 \div 10 b$, а вихід – до $4 \div 5 b$ (b – ширина виробки).

Для виключення плутанини між поняттями «аеродинамічна» і «фізична» довжина розміри зон входу і виходу були «приведені» до «аеродинамічної» довжини. Для цього зона входу була збільшена на b (ширина виробки дорівнює «довжині» сполуки). Відповідно, максимальна довжина входу (з урахуванням наявності сполук) сягає $11 \div 13 b$.

Для того, щоб ввести у обіг поняття робочої зони, необхідно врахувати, що виміри середньої швидкості вентиляційного струменя необхідно робити в тій частині виробки, де епюра швидкостей руху повітря симетрична (не деформована) відносно вісі і не змінна вздовж зони виміру. Мінімальна похибка вимірювання середньої швидкості повітря можлива тільки за наявності мінімальної довжини робочої зони $5 b$. Врахування мінімального розміру робочої зони дозволяє ввести у обіг поняття «критична» довжина виробки. Якщо виробка має критичну довжину, тобто сягає $20b$, то в ній можна вимірювати швидкість повітря з похибкою не більше 10 %. До того ж ця виробка повинна бути прямою і мати коливання перерізу по довжині не більше ніж 10 % від середньої величини.

Враховуючи наявність аеродинамічних зон, структура розподілу аеродинамічного опору гірничої виробки набуває такий вигляд

$$R = R_{вх} + R_p + R_{вих},$$

де $R_{вх}$, R_p , $R_{вих}$ – відповідно, опір входу, робочої частини і виходу гірничої виробки.

Так само можна показати і розподіл депресії в гірничій виробці

$$h_e = h_{ex} + h_p + h_{вих},$$

де h_{ex} , h_p , $h_{вих}$ – відповідно, депресія входу, робочої частини і виходу гірничої виробки.

Депресія входу гірничої виробки залежить від того, під яким кутом виробка поєднується зі сполукою, яка витрата повітря потрапляє у виробку і співвідношення перерізів виробок у сполуці. Найбільш поширеними є два типа сполук: «трійник» (рис. 2.5) і «хрестовина» (рис. 2.6).

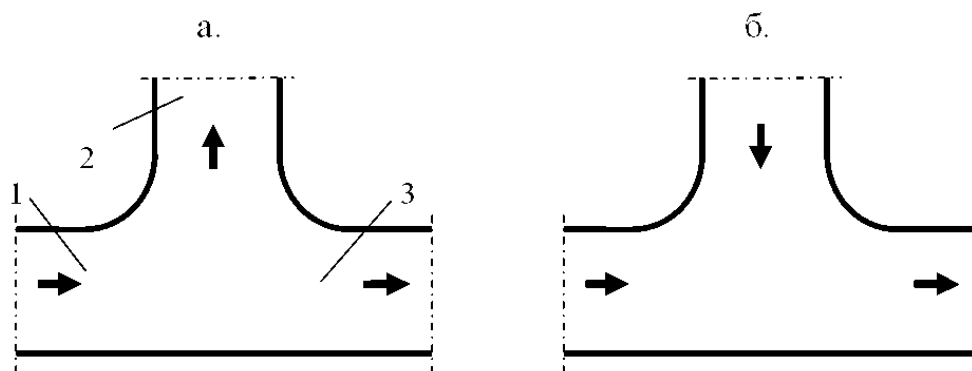


Рис. 2.5 – Схеми розподілу вентиляційного струменю в «трійнику»

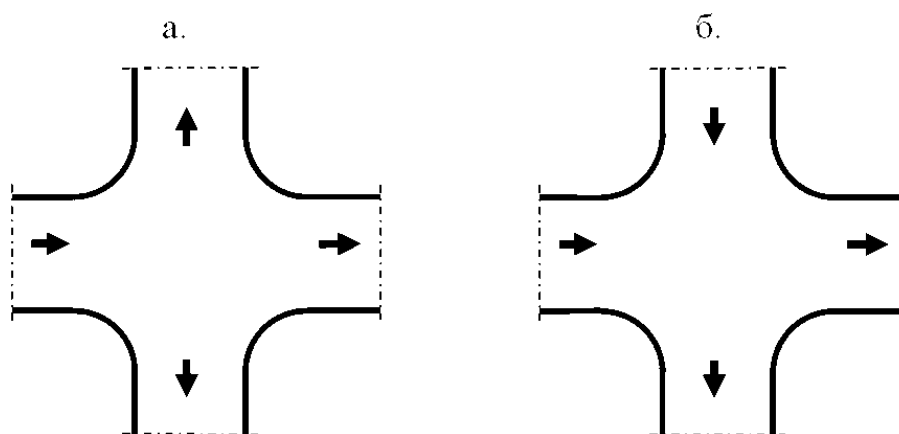


Рис. 2.6 – Схеми розподілу вентиляційного струменю в «хрестовині»

Всі виробки поєднані зі сполукою мають свою назву. Виробка 1 (рис. 2.5) має назву «збірна», 2 – «боковий відвід», 3 – «прохід». У «хрестовині» може бути (рис. 2.6) два «бокові відводи», два «проходи» і дві «збірні» виробки.

2.6 Особливості змін аеродинамічного опору виробок в умовах шахти

Точність моделювання розподілу повітря у віртуальній моделі вентиляційної мережі залежить від точності визначення режиму вентиляції (h, Q) гірничих виробок і розрахунків їх аеродинамічних опорів. Складність полягає у тому, що аеродинамічний опір гірничої виробки є квазістаціонарним (уявно незмінним). Фактично він змінюється у часі. Ця змінність існує у двох видах: поступова і короткоплинна. Перша пов'язана з зменшенням перерізу виробки під тиском вміщуючих порід, а короткоплинна – із організаційно-технологічними факторами. Поступова квазістаціонарність, як правило, стосується усіх виробок крім вертикальних стволів (окрім випадків, коли вони поглиблюються чи скорочуються, тобто, їх загальний опір змінюється у залежності від їх глибини), камер і виїмкових вибоїв. Короткоплинна квазістаціонарність опору виробок пов'язана з впливом гірничого транспорту (наявність і рух скіпів, клітей, вантажних та людських поїздів, навантажених конвеєрів, кінцевої відкатки і т.п.), рухом людей через вентиляційні споруди (двері, шлюзи) і по гірничих виробках, роботою механізмів у виїмкових та підготовчих вибоях.

Під час робочої зміни можуть діяти одночасно усі тимчасові фактори, а у проміжках між змінами, деякі з них зникають чи підсилюються. Наприклад, у лаві (під час видобутку вугілля) переріз, вільний для проходу повітря, увесь час змінюється циклічно. Постійна зміна опору лави пов'язана з рухом комбайна, переміщенням механізованого кріплення (за комбайном), рухом людей і зміною об'єму вільного простору за пересувним кріпленням (вироблений простір до «посадки» покрівлі і після цього). Враховуючи вищенаведене можна вважати провітрювання механізованих лав «пульсуючим».

Серед усіх виробок, опір виробок виїмкової дільниці необхідно розглядати окремо. Під час видобутку вугілля опір штреків виїмкової дільниці постійно змінюється. Одночасно з роботою механізованого комплексу змінюється довжина дільничних штреків. Так, якщо

відпрацювання виїмкової ділянки відбувається «стовпами» (без додаткових виробок зі «свіжим» повітрям), то опір виїмкової ділянки увесь час зменшується (при майже «незмінному» опорі лави), а витрата повітря у лаві підвищується. Ці зміни можна визначити (у залежності від співвідношення опорів лави і сумарного опорів діляничних штреків) у проміжках часу від 5 до 15 діб. У випадку «прямого ходу» лави, загальний опір ділянки підвищується увесь час, доки лава працює. При наявності додаткової підсвіжаючої виробки (схеми з «прямоточним провітрюванням» і зворотнім порядком відпрацювання підготовленого стовпа) опір руху повітря з часом також підвищується.

3 ЗАСАДИ МОДЕЛЮВАННЯ ШАХТНОЇ ВЕНТИЛЯЦІЙНОЇ МЕРЕЖІ

3.1 Підготовка схеми вентиляції шахти до моделювання

Технологія вирішення задач шахтної вентиляції з використанням ПЕОМ і програмного комплексу «IRS Вентиляція-ПЛА» являє собою відповідну послідовність дій, починаючи з підготовки вихідної інформації.

На першому етапі треба підготувати схему вентиляції до введення її в комп'ютер. Особливість цієї підготовки полягає у тому, що схему вентиляції необхідно показати у вигляді послідовності зв'язаних між собою гілок і вузлів, тобто мережі.

Кожен вузол мережі моделює сполуку гірничих виробок. Він зв'язує між собою дві чи більше гілки-виробки чи частини виробок.

Кодування схем вентиляції виконується при підготовці шахти до депресійної зйомки. При цьому кожному вузлу-сполуці і гілці-виробці на схемі вентиляції присвоюють свій номер. Така нумерація дозволяє ідентифікувати всі виробки шахти чи їх частини і показати їх у вигляді елементів вентиляційної мережі.

При підготовці схеми вентиляції шахти до вводу у комп'ютер, неприпустимо її спрощення, тобто об'єднання декількох вузлів у один чи заміна декількох гілок однією з еквівалентним опором. Необхідність деталізації викликана тим, що при розрахунках теплової депресії пожежі та маршрутів руху людей враховується кут нахилу і геометричні характеристики кожної виробки. При спрощенні схеми вентиляції, можливі помилки в побудові зони розповсюдження пожежних газів і маршрутів руху людей, а також помилки моделювання теплових джерел тяги (природна тяга, тепла депресія пожежі).

Після кодування схеми вентиляції, необхідно нанести на неї координатну сітку. За початок координат приймається точка в лівому верхньому куті листа паперу. Рисується дві осі: верхня – горизонтальна (зліва-направо) і ліва – вертикальна (зверху-вниз). Крок сітки – 50-100 мм.

Уся схема вентиляції шахти повинна бути розташована нижче горизонтальної та правіше вертикальної осі координат.

Наявність координатної сітки полегшує визначення координат всіх вузлів вентиляційної мережі шахти й прискорює «перенесення» схеми вентиляції з аркуша паперу на екран монітора. Коректуючи ці координати, у базі даних комп'ютера, можна змінювати розташування вузлів та гілок на екрані монітора.

3.2 Моделювання основних елементів вентиляційної мережі

Гірничі виробки і сполуки. Сукупність гірничих виробок, їх сполук та шляхів витоків повітря, складають основу шахтної вентиляційної мережі (ШВМ). Схема ШВМ на екрані виглядає як поєднання гілок і вузлів. Однак, для того, щоб розрізнити зображення шахтної вентиляційної мережі на схемі вентиляції, схемі вентиляційних з'єднань і на екрані монітора використовуємо поняття «гілка-виробка» і «вузол-сполука». Воно означає символічне зображення гірничої виробки на екрані монітора чи паперовій схемі у вигляді гілки та вузла.

Окремою виробкою на схемі вентиляції вважається простір розташований між двома найближчими сполуками і лініями які обмежують виробку вздовж двох сторін. Комп'ютерне зображення вентиляційної мережі містить зображення сполук гірничих виробок чи «вихід» гірничої виробки на поверхню землі. Ці місця на екрані монітора, виглядають як невеличкі кола (вузли). Зображення виробки на екрані комп'ютера може виглядати як одна або подвійна лінія між двома вузлами-сполуками. Необхідно, щоб під час «малювання» виробки на екрані монітора кожна виробка чи вузол отримували ті ж номери, що і на паперовій схемі.

Після введення схеми вентиляції в комп'ютер необхідно ввести інформацію про аеродинамічний опір кожної виробки. Ця інформація береться з матеріалів депресійної зйомки чи розраховується в програмі (з урахуванням коефіцієнта аеродинамічного опору).

Вентиляційні споруди. Наявність (або поява) вентиляційної споруди (двері, шлюз, перемичка) в гірничій виробці, моделюється за допомогою збільшення аеродинамічного опору гілки-виробки. Окрім цього, у програмі необхідно вказати до якого «типу» належить відповідна гілка-виробка і «встановити» спеціальний символ на зображенні гілки-виробки. Величина опору гілки-виробки з вентиляційною спорудою, приймається по даних депресійної зйомки або по даних вимірів фахівців шахти.

На рис. 3.1. показана схема моделювання кросингу. Гілки-виробки 2-3 та 3-4 моделюють гірничі виробки обладнані шлюзами, а 2-4, відповідно, канал кросингу. Зовні, так виглядає і схема вентиляційних з'єднань з обхідною виробкою.

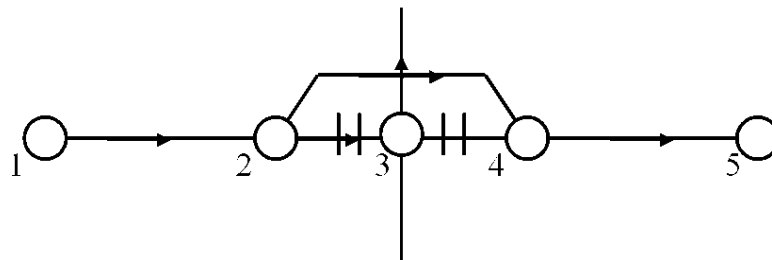


Рис. 3.1 – Схема моделювання кросингу (обхідної виробки)

Зовнішні і внутрішні витоки повітря. Шляхи руху зовнішніх і внутрішніх витоків-підсмоктувань повітря моделюють за допомогою гілок, але їх зображення та інформаційне забезпечення відрізняється від гілок-виробок. Так, якщо зображення гілки-виробки на екрані можна показати у вигляді подвійної лінії (як на схемі вентиляції) чи однією суцільною лінією (як на схемі вентиляційних з'єднань), то гілки-витоки зображають тільки у вигляді штрихової лінії (рис. 3.2).



Рис. 3.2 – Зображення гілки вентиляційної мережі, яка моделює виток повітря через вироблений простір

Гілки-витоки не «містять» інформацію про довжину, площу перерізу, швидкість повітря і інші «атрибути» гілки-виробки.

Виток повітря через вентиляційну споруду має відповідну назву-ідентифікатор: внутрішній виток (двері), зовнішній виток (двері). В цьому випадку до символу гілки (рис. 3.3) додається символ вентиляційної споруди

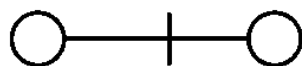


Рис. 3.3 – Зображення гілки вентиляційної мережі з вентиляційною спорудою

Рух повітря з поверхні землі до каналу вентилятора через різні нещільності та устя ствола має назву «підсмоктування», якщо вентилятор головного провітрювання працює у режимі всмоктування повітря. При роботі вентилятора на нагнітання, рух повітря із каналу вентилятора на поверхню землі через різні нещільності має назву «витоки повітря».

Гілка, що моделює зовнішній виток-підсмоктування повсякчас має один вузол, який моделює поверхню землі (рис. 3.4). Усі шляхи руху зовнішніх витоків-підсмоктувань повітря, пов'язані з однією вентиляторною установкою (3-4), спрощено можна зобразити у вигляді однієї гілки 1-2. Ця гілка являє собою всі зовнішні витоки-підсмоктування. Вона «зв'язує» поверхню землі і початковий вузол гілки, котра моделює канал вентилятора (2-3).

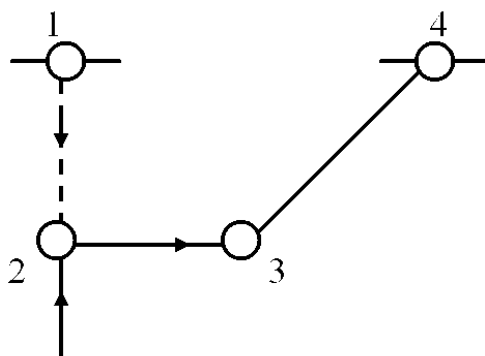


Рис. 3.4 – Спрощена схема моделювання шляхів зовнішніх витоків-підсмоктувань повітря

Внутрішні витоки-підсмоктування повітря можна поділити на дві групи: витоки через вентиляційні споруди в гірничих виробках (див. вище) і витоки через вироблений простір. Витоки через вироблений простір також поділяються на дві групи: місцеві і розосереджені. Місцеві пов'язані з якимось конкретним місцем, наприклад, місцем сполуки діючої виробки з виробкою, яка «погашена». Розосереджені витоки повітря – це витоки по довжині виробки, наприклад, вздовж виробки яка примикає до виробленого простору виїмкової ділянки. В обох випадках виток моделюється однією гілкою, але, опір шляху руху виток (R_y), у другому випадку, визначається як фіктивний. Він характеризує підсумкові витоки-підсмоктування повітря уздовж якої-небудь ділянки виробки. Наприклад, фіктивний опір гілки яка моделює витоки повітря через вироблений простір за лавою (рис. 3.5) можна порахувати за допомогою формули

$$R_{e.l.} = h_l / \Sigma Q_y^2,$$

де h_l – депресія лави;

ΣQ_y – сума витрат повітря із транспортного штреку на вентиляційний.

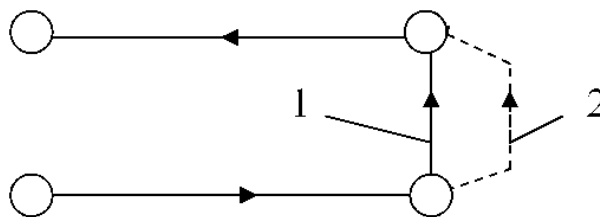


Рис. 3.5 – Схема моделювання виїмкової ділянки:

1 – гілка-лава; 2 – гілка-виток

Моделювання виробленого простору, само по собі, є окремою науковою задачею. На цей час відсутня офіційно діюча методика моделювання виробленого простору.

Моделювання вентиляції підготовчих виробок. Для моделювання вентиляції підготовчих виробок, необхідно в шахтній вентиляційній мережі

відокремити дві додаткові гілки. Перша – моделює частину виробки від місця де знаходиться вентилятор місцевого провітрювання (ВМП) до початку тупикової виробки. Отже, виробка яка підводить повітря до ВМП і пов’язана з початком тупикової виробки, в моделі поділена на дві гілки: одна – від початку виробки до ВМП, а друга – від ВМП до початку тупикової виробки. Підготовча виробка також моделюється двома гілками: одна – від початку до забою, а друга – забій тупикової виробки. ВМП моделюється окремою гілкою.

Витоки повітря з нагнітального трубопроводу, в загальному випадку, теж моделюються двома гілками-витоками. Схема моделювання, яка містить гілку ВМП і вентиляційний трубопровід наведена на рис. 3.6. На рис. 3.6а наведена схема провітрювання тупикової виробки, а на рис. 3.6б – схема моделювання місцевої вентиляції.

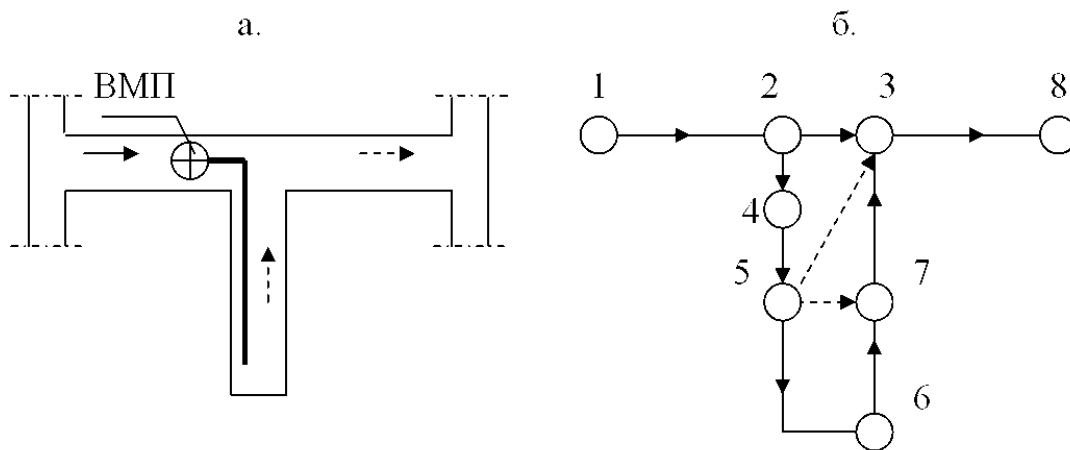


Рис. 3.6 – Схема вентиляції і моделювання тупикової виробки

На рис. 3.6б гілка 1-2 моделює ділянку виробки від початку (по ходу вентиляційного потоку) до місця де стоїть ВМП. Гілка 2-3 – частина виробки від місця установки ВМП до сполуки з тупиковою виробкою. Гілка 2-4 – ВМП. Гілка 4-5 – вентиляційний трубопровід від ВМП до початку тупикової виробки. Гілка 5-6 – вентиляційний трубопровід від початку до вибою тупикової виробки. Гілка 6-7 – вибій тупикової виробки (ділянка тупикової виробки довжиною 20 м, від поверхні вибою). Гілка 7-3 – тупикова виробка. Гілка 3-8 – виробка з відпрацьованим повітрям із тупикової виробки. Усі

витоки повітря, що розосереджені по довжині трубопроводу, моделюються двома гілками. Перша (5-3) моделює витоки із трубопроводу на ділянці від ВМП до початку тупикової виробки. Друга (5-7) – усі витоки повітря із трубопроводу від початку виробки до вибою.

Така модель місцевого провітрювання дозволяє, з одного боку, відокремити режим провітрювання вибою тупикової виробки, а з іншого – контролювати небезпеку появи рециркуляції на ділянці від ВМП до початку тупикової виробки.

Моделювання вентиляторів. Вентилятор головного провітрювання (або ВМП) моделюється окремою гілкою. Характеристику вентилятора з достатньою для інженерних розрахунків точністю описує формула

$$h = A_v - b_v Q^2,$$

де h , Q – статична депресія і подача вентилятора, відповідно;

A_v , b_v – коефіцієнти характеристики вентилятора (розраховуються по графіку характеристики).

Природна тяга. Природну тягу моделюють використовуючи дві методики. В одній, природна тяга моделюється точковими джерелами тяги. Їх величина розраховується для окремих контурів шахтної вентиляційної мережі, а характеристика має вигляд прямої лінії, паралельної осі абсцис. У шахтній вентиляційній мережі можна відокремити три групи виробок (рис. 3.7) з природною тягою: стволи (h_{ec}), похилі виробки виїмкових полів (h_{en}) і виїмкові ділянки (h_{ed}). Природна тяга розраховується по результатах температурної зйомки за допомогою термодинамічного методу.

У комп'ютерній моделі «IRS Вентиляція-ПЛА» природна тяга моделюється додаванням депресії у гілку-виробку. Для цього використовується спеціальна вставка «Дод. депресія» у вікні кожної гілки. Додаткова депресія уводиться в похилу (вертикальну) виробку з висхідним струменем повітря (якщо в одній виробці низхідне, а в іншій – висхідне провітрювання).

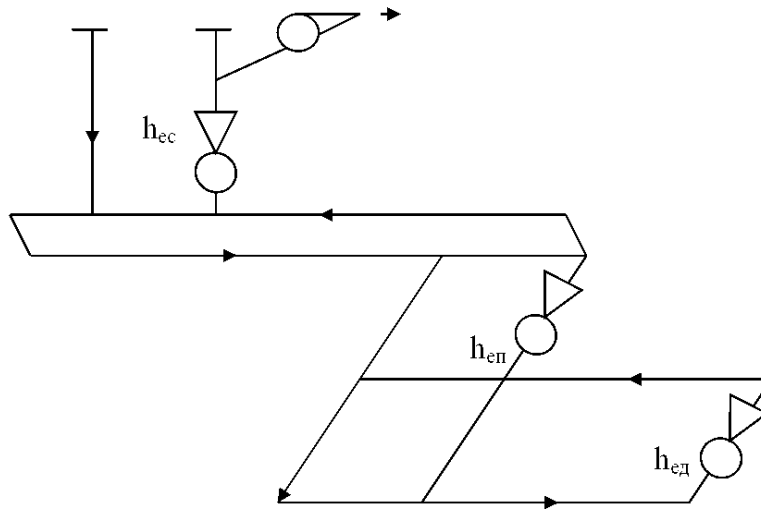


Рис. 3.7 – Спрощена схема шахти з природною тягою у трьох вентиляційних контурах

Відповідно до другої методики, природна тяга визначається як різниця тисків стовпів повітря у вертикальних і похилих виробках. Її дія моделюється введенням відповідного тиску-депресії в кожен похилу чи вертикальну гілку-виробку комп'ютерної моделі (рис. 3.8).

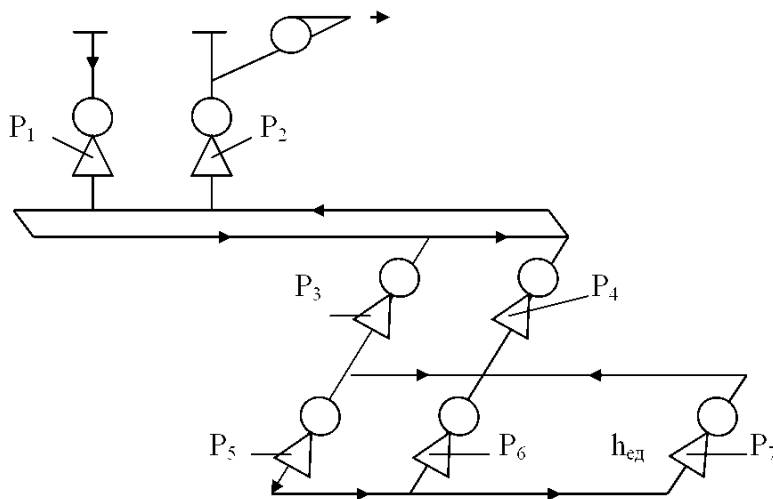


Рис. 3.8 – Спрощена схема моделювання природної тяги

Природна тяга у вентиляційних контурах дорівнює відповідній різниці тисків повітря у вертикальних і похилих виробках. Наприклад, природна тяга у стволах дорівнює $P_1 - P_2$. У похилих виробках – $P_3 - P_4$ і так далі.

Моделювання дії генератора інертних газів (ГІГ). Для моделювання дії ГІГ у модель ШВМ необхідно додати гілки які моделюють сам генератор (вентилятор) і парогазопровід. Генератор моделюють уводячи у гілку-генератор додаткову депресію (A_z) і внутрішній опір (b_z). Параметри A_z і b_z наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

Параметри аеродинамічних характеристик газогенераторів

№ п/п	Тип генератора (n – частота обертання двигуна, хв^{-1})	A_z , Па	b_z
1	ГТ-250	1600	8,65
2	ГІГ-4	2150	21,5
3	ГІГ-1500 ($n=70$)	3000	8,93
	($n=75$)	3000	5,93
	($n=80$)	3000	4,17
	($n=85$)	3000	3,16
	($n=90$)	3000	2,5
	($n=95$)	3000	2,0

Існують деякі особливості «підключення» ГІГ до гілок-виробок у моделі ШВМ. Розглянемо їх на окремому прикладі.

Припустимо, що необхідно оцінити вплив роботи ГІГ на стійкість вентиляційних струменів у гірничих виробках. Така загроза може виникнути під час ліквідації пожежі, адже дія ГІГ аналогічна дії потужного вентилятора.

Спрощена схема аварійної ділянки (рис. 3.9) містить аварійну виробку (2-7) і виробки які з нею поєднані (1-2, 2-3, 6-7, 7-8). Необхідно, провести моделювання дії ГІГ і визначити можливість зміни напрямку руху повітря у гілці 5-6.

Для моделювання дії ГІГ необхідно гілки 1-2 (місце установки ГІГ) і 2-7 (аварійну виробку) поділити на дві частини (рис. 3.10). Гілку 1-2 замінюють послідовним з'єднанням двох гілок 1-9 і 9-2, а гілку 2-7 – з'єднанням гілок 2-11 і 11-7.

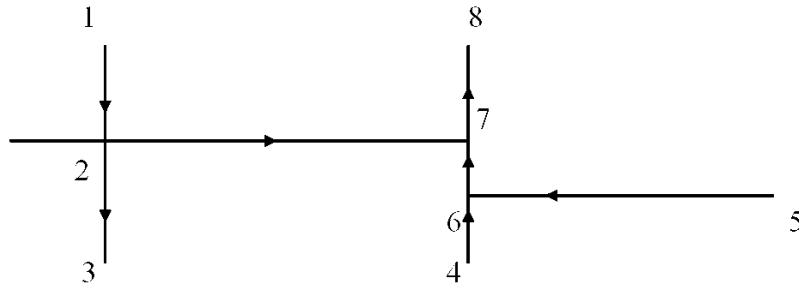


Рис. 3.9 – Спрощена схема частини вентиляційної мережі

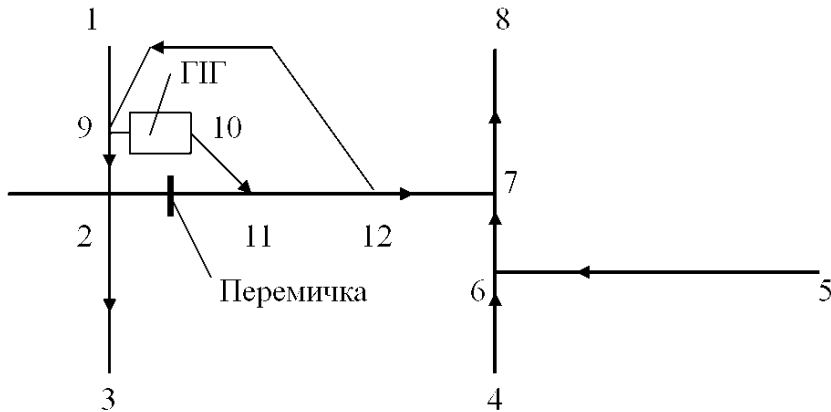


Рис. 3.10 – Схема моделювання ГП у віртуальній моделі ШВМ

Гілка 1-9 моделює частину виробки 1-2 від початку виробки до місця встановлення ГП, а гілка 9-2 моделює частину виробки 1-2 від місця встановлення ГП до вузла 2. Аеродинамічний опір гілок 1-9 (R_{1-9}) і 9-2 (R_{9-2}) визначають пропорційно їх довжині ($R_{1-2} = R_{1-9} + R_{9-2}$). Гілка 9-10 моделює ГП, а гілка 10-11 – паро газопровід, прокладений від ГП до місця, де інертний газ виходить з парогазопроводу (вузол 11) у аварійну виробку. Опір гілки 2-11 визначають з урахуванням опору ізолюючої перемички (якщо вона є). Опір металевого трубопроводу (гілка 10-11) визначають з урахуванням його довжини, діаметру та наявності поворотів (R_m).

Під час моделювання працюючого ГП слід враховувати, що приблизно 40 % інертної суміші становить водяна пара. Протягом 400 м (після потрапляння у виробку) пара конденсується і у виробці залишається тільки інертний газ. Інакше кажучи, витрата інертної суміші по довжині виробки зменшується на 40 %. Для врахування цього явища у комп'ютерну модель ГП слід додати фіктивну гілку з «фіксованою» витратою «повітря», який

«повертає» 40 % подачі ГІГ із аварійної виробки до генератора (гілка 12-9). Тобто, гілку 11-7 слід замінити послідовним з'єднанням двох гілок – 11-12 і 12-7. Опір цих гілок можна визначити пропорційно довжині відповідних ділянок гірничої виробки 11-7.

3.3 Підготовка даних для комп'ютерної моделі шахтної вентиляційної мережі

Для побудови комп'ютерної моделі шахтної вентиляційної мережі достатньо схеми вентиляції, інформації про аеродинамічні опори всіх гілок-виробок мережі і даних про характеристики вентиляторів головного провітрювання.

Аеродинамічні опори гілок-виробок (R) розраховують на підставі вимірів статичної депресії (h) і витрат повітря (Q) гілок-виробок (1.1). Ці виміри і розрахунки роблять під час проведення депресійних зйомок.

Виміри депресії гірничих виробок. Повний тиск повітря (P_n) незмінний у перерізі виробки (каналу) і являє собою алгебраїчну суму статичного (P_c) і динамічного ($P_d = \rho v^2/2$) тисків повітря в кожній точки перерізу виробки. Цей зв'язок демонструє рівняння Бернуллі для горизонтальної виробки

$$P_n = P_c + \rho v^2/2 = const,$$

де ρ – густина повітря;

v – швидкість повітря.

Епюри повного і статичного тиску по висоті (ширині) у відповідності до рівняння Бернуллі мають такий вигляд (рис.3.11).

Статичний тиск в перерізі мінімальний на рівні лінії (вектору) максимальної швидкості повітря і підвищується в напрямку кріплення чи почви виробки. На стінці виробки, де швидкість повітря дорівнює нулю ($v=0$) статичний тиск максимальний ($P_{c,max}$) і дорівнює повному тиску у потоці повітря (P_n) для кожної точки перерізу

$$P_n = P_{c,max}$$

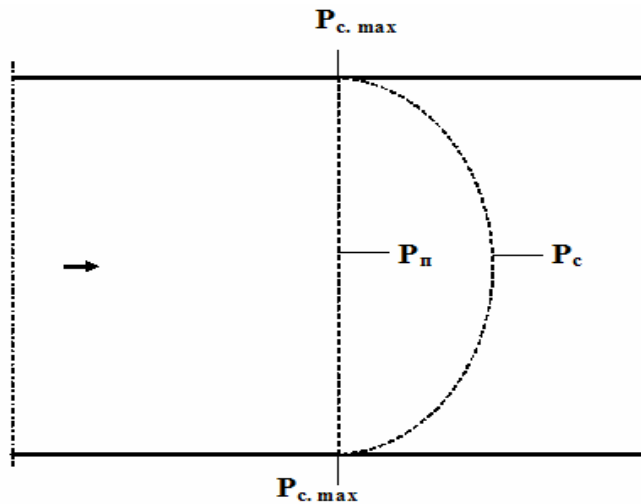


Рис. 3.11 – Схема розподілу тиску повітря в перерізі виробки відповідно рівнянню Бернуллі

Робочий елемент барометра чи мікробарометра (анероїдна коробка) сприймає тільки максимальний статичний тиск ($P_{c,max}$), адже анероїдна коробка розташована у середині прибору де повітря не рухається (швидкість повітря біля поверхні анероїдної коробки дорівнює нулю). Таким чином немає потреби визначати повний тиск (P_n) у потоці повітря якщо визначено максимальний статичний ($P_{c,max}$) на стінці виробки (трубопроводу).

Для визначення різниці тиску між двома точками в двох різних перерізах горизонтальної виробки (рис. 3.12, точки 1, 2), замість рівняння

$$h = (P_{c1} + \rho_1 v_1^2/2) - (P_{c2} + \rho_2 v_2^2/2)$$

для практичних потреб треба використовувати спрощене рівняння

$$h = P_{c,max1} - P_{c,max2}$$

Статична депресія ділянки 1-2 визначається як різниця між двома максимальними статичними тисками в перерізах 1 і 2.

Інакше кажучи, ніяких додаткових вимірів «середньої швидкості» для визначення «середнього» динамічного тиску у кожному з двох перерізів виробки чи трубопроводу робити не потрібно, бо це тільки підвищує похибку розрахунків аеродинамічного опору.

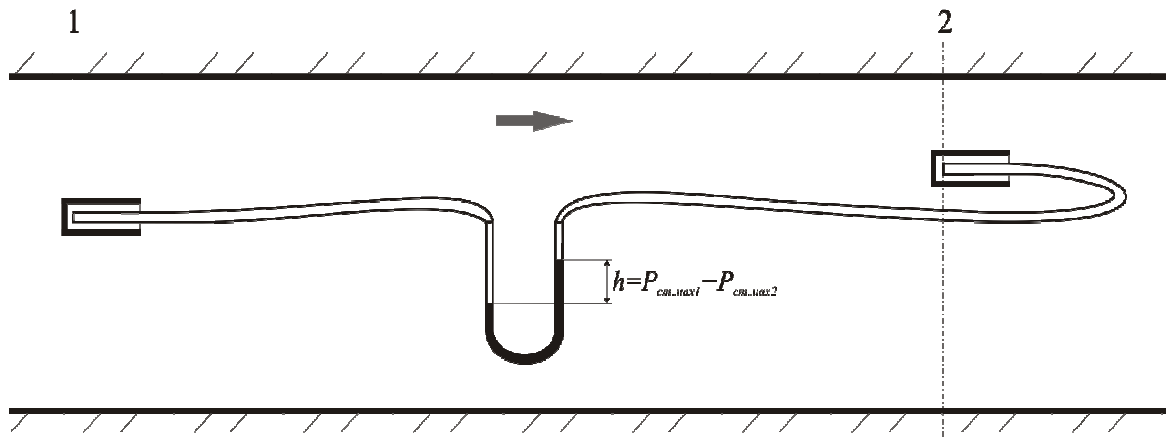


Рис. 3.12 – Схема виміру статичної депресії між двома перерізами виробки

Головна умова вимірів депресії гірничих виробок полягає у наступному: виміри необхідно робити таким чином, щоб мати змогу перевірити під час зйомок відповідність вимірів другому закону мережі (1.11). Інакше кажучи, виміри депресії потрібно робити у гілках-виробках які входять у замкнені вентиляційні контури. Така методика дозволяє врахувати вплив короткочасних вентиляційних збурень (рух транспортних засобів, відкривання вентиляційних дверей) на розподіл депресії у мережі гірничих виробок. Для вимірів депресії необхідно використовувати трубки максимальної статичної депресії, котрі приєднують до вільних кінців гумових трубок.

Конструкція трубок для виміру статичної депресії має свої особливості. Головна особливість полягає у співвідношенні внутрішнього діаметру трубки і її довжини. У загальному випадку трубка має вигляд порожнього циліндра (з пластмаси чи металу) закритого з однієї сторони (рис. 3.13).

Співвідношення довжини і ширини (діаметра) трубки визначає емпірична формула А.М. Карпова

$$l_t = 0.0376 \cdot \text{Re}^{0.4} \cdot d_t,$$

де l_t – довжина від початку трубки до місця вимірювання в трубці;

d_t – діаметр трубки;

Re – число Рейнольдса для повітря у виробці.

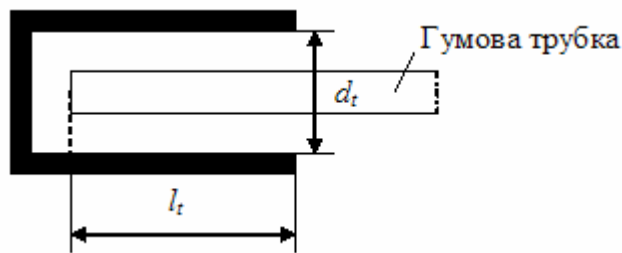


Рис. 3.13 – Схема трубки для вимірювання статичної депресії

Довжина l_t визначає мінімальну відстань на яку кінець гумової трубки потрібно ввести у циліндр. Відповідність довжини l_t і діаметру d_t є запорукою того, що біля кінця гумової трубки в циліндрі повітря не буде рухатися. Трубки максимального статичного тиску розташовують на «почві» виробки, спрямовуючи закритий кінець назустріч потоку повітря.

Послідовність вимірів розглянемо на прикладі схеми уклонного поля (рис. 3.14). Виміри депресії виконує бригада у складі трьох чоловік.

Мікроманометр встановлюємо у точці 2. Дві короткі (довжина 20-30 м) гумові трубки прокладаємо між точками (центрами сполук) 2-1 і 2-3. Вимірюємо депресії h_{2-1} , h_{2-3} , h_{1-2-3} . Перевіряємо похибку вимірів, тобто сума депресій h_{2-1} і h_{2-3} повинна дорівнювати h_{1-2-3} . Згортаємо трубку 2-1 і одночасно прокладаємо довгу трубку (довжина 100 м) від точки 2 у напрямку точки 5 (до якоїсь проміжної точки n). Вимірюємо депресію ста метрів гілки 2-6 (Δh_{2-n}), депресію гілки 2-3 (h_{2-3}) і різницю тисків між точками 3 та n (h_{3-n}). Різниця депресій h_{2-3} і Δh_{2-n} повинна дорівнювати h_{3-n} . Якщо ця вимога не виконується необхідно повторити усі три виміри.

Згортаємо гумову трубку 2-3. Мікроманометр переносимо в напрямку точки 5 і встановлюємо біля кінця довгої трубки (проміжна точка n).

Прокладаємо другу довгу трубку (довжина 100 м) у напрямку точки 5 (до якоїсь проміжної точки m). Вимірюємо депресію Δh_{2-n} , Δh_{n-m} і Δh_{2-n-m} .

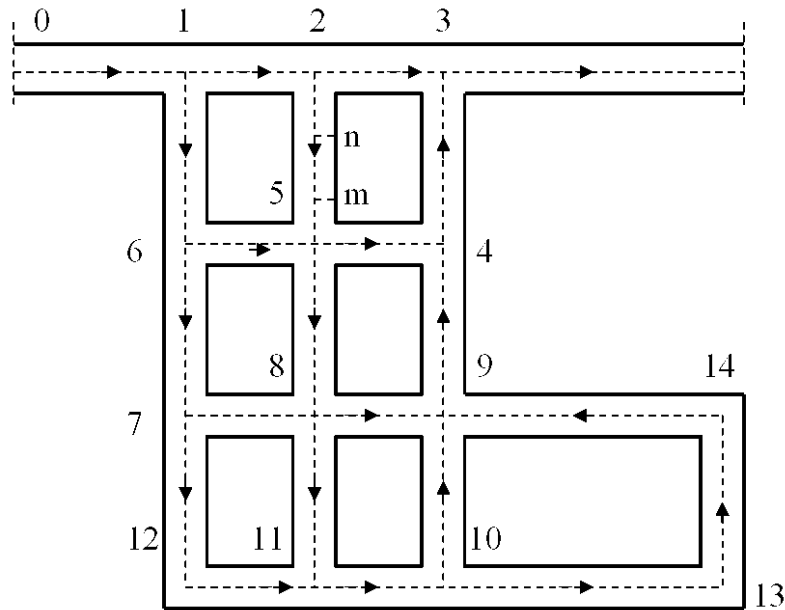


Рис. 3.14 – Схема вимірювання депресії гілок-виробок

Особливість методики вимірів полягає у повторенні попереднього виміру депресії. Це дозволяє контролювати можливі випадкові коливання депресії і коректувати подальші виміри.

Після встановлення мікроманометра у точці 5 вимірюються депресії h_{5-6} , h_{5-4} , h_{6-5-4} . Депресії 1-6 і 3-4 не вимірюють, а розраховують використовуючи другий закон мережі

$$h_{1-6} = h_{1-2} + h_{2-5} - h_{5-6}.$$

$$h_{3-4} = h_{2-3} - h_{2-5} - h_{4-5}.$$

Якщо депресію всіх гілок вимірюють, а не розраховують (при наявності в контурах похилих виробок природної тяги), то результати вимірів необхідно перевірити на відповідність другому закону мережі. Сума депресій в контурі гілок-виробок 1-2-5-6-1 повинна дорівнювати нулю при відсутності природної тяги у цьому контурі. Наявність природної тяги у контурі 2-3-4-5-2 слід враховувати. Наприклад, якщо приймаємо напрямок «руху» по виробкам

контурів відповідно руху годинникової стрілки, то рівняння для першого (1-2-5-6-1) і другого (2-3-4-5-2) контурів будуть мати такий вигляд

$$h_{1-2} + h_{2-5} = h_{1-6} + h_{5-6},$$
$$h_{2-3} + h_e = h_{2-5} + h_{5-4} + h_{4-3},$$

де h_e – природна тяга в контурі 2-3-4-5-2 (визначається за методом Воропаєва).

Подальші виміри виконуються відповідно наведеній методиці. Така послідовність вимірів депресії мінімізує працевтрати на прокладання гумових трубок і одночасно забезпечує мінімальну похибку вимірів. У кожному конкретному випадку слід попередньо визначати напрямок руху вимірювачів по виробкам з урахуванням побудови вентиляційних контурів.

Під час вимірювання депресії слід враховувати поділ похилих виробок на виробки зі свіжим і відпрацьованим повітрям. Для зменшення похибки виміру депресії (від різниці температури повітря) не слід на протязі робочої зміни «змішувати» виміри. Наприклад (рис. 3.14), спочатку виміряти депресію похилої виробки зі свіжим повітрям (2-5), а потім – з відпрацьованим (3-4). Якщо ж така необхідність є, то депресію можна вимірювати не раніше ніж через 20 хвилин після прокладання гумових трубок. За цей час повітря у гумових трубках набуде такої ж температури, що і повітря у виробці.

Депресію довгих виробок можна визначати комбінованим способом. Спочатку визначити довжину ділянок виробки з різним перерізом чи з якимось обладнанням. Наприклад (рис. 3.15), виробка загальною довжиною 2000 м (без сполук з іншими виробками) поділена на три частини: 900 м з перерізом $14 \text{ м}^2 (\pm 1 \text{ м}^2)$, 700 м з перерізом 12 м^2 і 400 м з перерізом 11 м^2 . Спочатку для кожної із трьох частин виробки слід виміряти депресію (витрата повітря вимірюється один раз) і порахувати аеродинамічний опір ділянки довжиною 200 м (прокласти одразу дві гумові трубки). Потім визначити опір 100 м для кожної ділянки (r_n – питомий опір). Загальний

аеродинамічний опір довгої виробки розраховується як сума середньозважених опорів кожної ділянки

$$R_g = r_{n(1-2)} \cdot L_{1-2} + r_{n(2-3)} \cdot L_{2-3} + r_{n(3-4)} \cdot L_{3-4},$$

де $r_{n(1-2)}$, $r_{n(2-3)}$, $r_{n(3-4)}$ – питомий опір, відповідно, ділянок 1-2, 2-3 і 3-4;
 L_{1-2} , L_{2-3} , L_{3-4} – відповідно, довжина ділянок 1-2, 2-3 і 3-4.

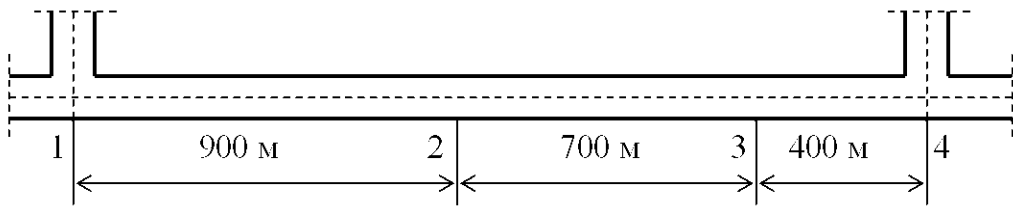


Рис. 3.15 – Схема визначення опору довгої виробки

Необхідною умовою використання цього засобу є наявність пікетів по довжині виробок (для фіксації довжини окремих ділянок виробки). Якщо довга виробка горизонтальна то її депресію краще визначати за допомогою мікробарометрів.

Визначення депресії виробок за допомогою мікробарометрів.
 Особливість визначення депресії виробок за допомогою мікробарометрів полягає у тому, що у похилих та вертикальних виробках депресія не вимірюється, а розраховується за допомогою формули

$$h = P_{c.n} - P_{c.k} + 9,81 (\rho_n z_n - \rho_k z_k),$$

де $P_{c.n}$, $P_{c.k}$ – статичний тиск стовпа повітря виміряний мікробарометром, відповідно, у центрі сполуки на початку (де струмінь повітря входить у виробку) і в кінці гірничої виробки;

ρ_n , ρ_k – відповідно, густина повітря яке не рухається (зупинені вентилятори головного провітрювання) у точці вимірювання тиску на початку і в кінці виробки;

z_n, z_k – абсолютні відмітки точок у яких визначається тиск повітря.

Вищенаведене рівняння показує, що депресія вертикальної чи похилої виробки визначається як різниця тиску стовпа повітря яке рухається ($P_{c.n} - P_{c.k}$) і тиском який спричиняє стовп повітря [$9,81 (\rho_n z_n - \rho_k z_k)$] у похилій виробці коли повітря не рухається.

Виміри депресії за допомогою мікробарометрів повинна робити бригада в складі двох чоловік (мінімальний склад). Виміри тиску на кінцях виробки потрібно робити одночасно. Бажано, щоб під час вимірів витрат повітря відбувався контроль коливань тиску і, у разі його зміни, робився відповідний перерахунок витрати повітря. Для зменшення похибки вимірів тиску необхідно передбачити таку послідовність переходу вимірювачів с точки на точку, при якій один з них повсякчас контролює коливання тиску повітря. Тому обов'язковим є наявність зв'язку між усіма вимірювачами.

Виміри витрат повітря. Головна особливість визначення витрат повітря полягає у визначенні місць вимірів швидкості потоку повітря. Місце виміру (переріз) повинно бути розташовано не ближче $11b$ (b – ширина виробки) від аеродинамічного початку виробки (переріз у місці де закінчується сполука) чи не ближче $4b$ від аеродинамічного кінця виробки. Наявність гірничого обладнання (трубопроводи) чи транспортних засобів (стрічковий конвеєр) у виробці деформує вентиляційний потік і збільшує похибку вимірів витрати повітря. У цих випадках для контролю точності вимірів необхідно використовувати перший закон мережі.

Розглянемо особливості вимірів витрат повітря на прикладі схеми вентиляції уклонного поля (рис. 3.14).

Припустимо, що довжина гілок-виробок 1-2, 5-6, 7-8, 11-12, 2-3, 4-5, 8-9, 10-11 дорівнює 20 м, а ширина – 2,5-3,5 м. У виробках 2-5, 5-8, 8-11, 10-11, 10-13 розташований стрічковий конвеєр. Виміри витрат повітря слід виконувати на ділянках які мають довжину більше ніж 100 м (0-1, 1-6, 3-4, 6-7, 4-9, 7-12, 3-4, 9-14). Тоді витрати повітря у інших виробках можна поррахувати чи перевірити точність вимірів витрат повітря в них:

$$Q_{1-2} = Q_{0-1} - Q_{1-6}; \quad Q_{2-5} = Q_{3-4} - Q_{1-6}; \quad Q_{5-6} = Q_{1-6} - Q_{6-7}.$$

Після визначення аеродинамічного опору всіх гілок-виробок за допомогою комп'ютерної програми створюють віртуальну модель шахтної вентиляційної мережі (рис. 3.16).

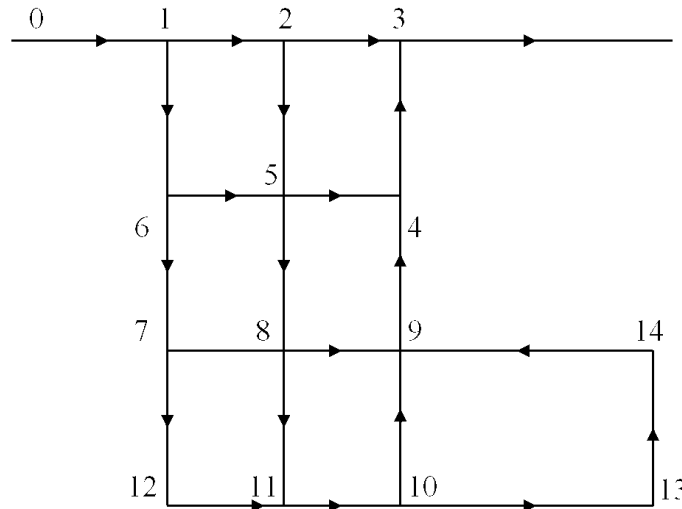


Рис. 3.16 – Комп'ютерна схема вентиляційної мережі уклонного поля

Виміри температури повітря. Виміри температури повітря в гірничих виробках виконуються для визначення густини повітря і розрахунків природної тяги в похилих і вертикальних виробках. З урахуванням цього, метою всіх вимірів і пов'язаних з цим розрахунків є отримання початкової (t_n) і кінцевої (t_k) температур повітря в кожній виробці. Точки виміру (місце в перерізі виробки) повинні бути на відстані $0,25 b$ від стінок (або $0,3 b$ в залежності від типу виробки) і $0,4$ висоти від рівня баласту (підшви) виробки.

Сучасні уявлення про розподіл повітря в сполуках і аеродинамічну структуру гірничих виробок дозволяють стверджувати, що температуру повітря слід визначати з урахуванням особливостей розподілу повітря у сполуках. З цієї точки зору всі сполуки можна поділити на три групи: сполуки де відбувається тільки розподіл потоку повітря по окремих

струменях; сполуки де відбувається тільки змішування окремих струменів повітря; сполуки де одночасно відбувається і змішування і розподіл.

До сполук першої групи (рис. 3.17а) повітря надходить по одній виробці, а розподіляється по декількох виробках. У другій групі – навпаки, до сполуки повітря надходить по декількох виробках (рис. 3.17б), а виходить по одній. Третя група – повітря і надходить і виходить по декількох виробках (рис. 3.17в).

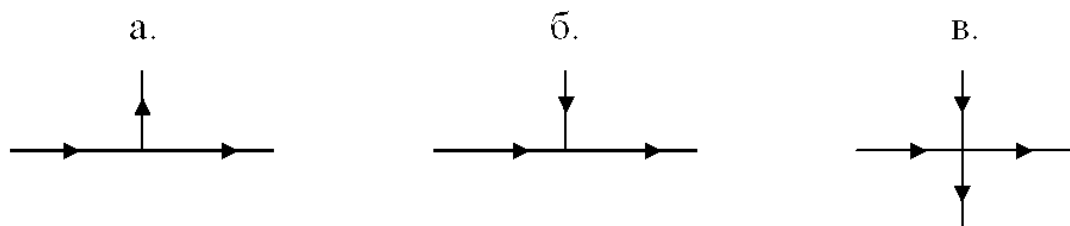


Рис. 3.17 – Схеми руху повітря по гірничих виробках зі сполуками

Враховуючи наявність цих груп всі гірничі виробки також можна поділити на три типи: виробки зі сполуками де повітря тільки розподіляється (рис. 3.18а); виробки зі сполуками де повітря тільки змішується (рис. 3.18б); виробки де в одній сполуці повітря змішується, а в іншій – розподіляється, або навпаки (рис. 3.18в).

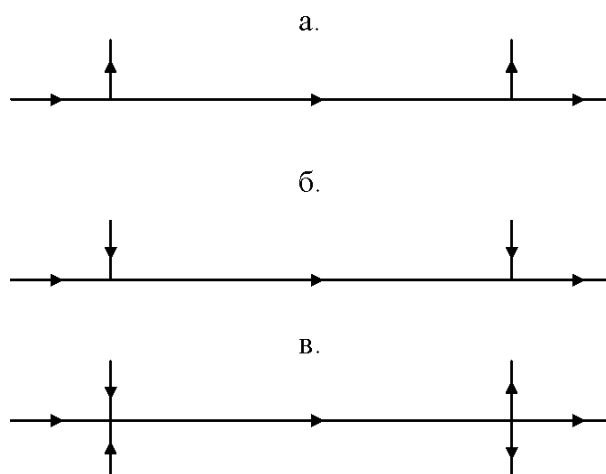


Рис. 3.18 – Схеми розподілу повітря по виробках

Під час вимірів температури повітря (як і при визначенні відносної вологості) у мережі слід враховувати тип сполуки. У випадках коли повітря

розподіляється можна вважати, що кінцева температура (t_k) у гілці-виробці 1 (рис. 3.19а) у той же час є початковою (t_n) для гілок-виробок 2 і 3 ($t_{k1} = t_{n2} = t_{n3}$).

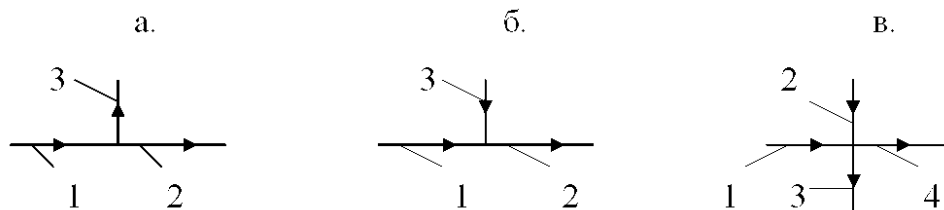


Рис. 3.19 – Схеми визначення температури повітря у мережі

Для другої схеми (рис. 3.19б) початкова температура визначається як середньозважена

$$t_{n2} = (Q_1 t_{k1} + Q_3 t_{k3}) / Q_2,$$

де Q_1, Q_2, Q_3 – відповідно, витрати повітря у гілках 1, 2, 3.

Початкова температура для гілок-виробок 3 і 4 (рис. 3.19в) визначається тільки експериментально.

Температура в кінці виробки (t_k) вимірюється на відстані не менш ніж $4b$ від аеродинамічного кінця виробки, а на початку (t_n) – не менш ніж $10b$ від аеродинамічного початку.

Вищенаведені особливості вимірів і розрахунків температури у мережі утворюють деякі протиріччя зі сталим уявленням про «формування» температури повітря по маршруту, адже для розрахунку природної тяги у вентиляційному контурі «потрібна» температура повітря у вузлі мережі, а фактично її вимірюють десь за межами вузла-сполуки.

Методика вимірювань температури повітря враховує неможливість фактичних вимірів температури, вологості і витрати повітря в центрі сполуки (у вузлі). Для визначення величини природної тяги та її подальшого моделювання, визначену чи виміряну температуру повітря штучно «переміщують» в початок чи в кінець виробки. При цьому робиться припущення, що температура повітря яке рухається співпадає з температурою нерухомого повітря. Таким чином усі гілки-виробки в

комп'ютерній моделі ШВМ отримують початкову і кінцеву температуру, а поняття «вузлової» температури, вологості чи густини повітря зникає – воно не відповідає вимогам моделювання вентиляційних контурів за допомогою ПЕОМ (неможливо мати у вузлі одночасно декілька різних температур, вологостей і густин повітря).

Визначення опорів гілок-виробок за допомогою комп'ютерної моделі ШВС. Важливим чинником який не завжди враховується, є можливість використання сучасного програмного забезпечення для визначення аеродинамічних опорів гірничих виробок. Так, у програмному комплексі «IRS Вентиляція-ПЛА» передбачена можливість автоматизованого визначення опорів окремих виробок по одному вимірному параметру. Наприклад, якщо у якомусь вентиляційному контурі є виробка, де виміряна тільки депресія чи витрата повітря, то цієї інформації достатньо для автоматичного розрахунку аеродинамічного опору гілки. Можливість таких розрахунків пов'язана з використанням так званих «фіксованих» депресій і витрат повітря.

Оптимальна кількість виробок з невідомою депресією чи витратою повітря в одному вентиляційному контурі: одна невідома депресія і одна невідома витрата повітря. Тобто, якщо вентиляційний контур складається тільки з двох гілок-виробок (паралельне з'єднання), то достатньо ввести у комп'ютерну модель однієї виробки тільки депресію, а в другу – тільки витрату повітря.

Якщо гілки-виробки входять одночасно у декілька вентиляційних контурів, то можна визначати одночасно декілька невідомих депресій і витрат повітря. Такі гілки-виробки вибирають в залежності від складності вимірів. Депресію вимірюють у виробках, де складно (або неможливо) виміряти витрату повітря (витоки повітря через замкнені вентиляційні двері, перемички, вироблений простір), а за допомогою витрат повітря визначають опір тих виробок, де складно виміряти депресію (довгі виробки). Наприклад, для автоматизованого визначення аеродинамічного опору гілок 2-3, 4-5, 8-9, 9-10 (рис. 3.15) достатньо ввести у комп'ютер тільки вимірну депресію цих гілок, а у гілки 3-4 і 4-9 – витрати повітря.

Для використання можливостей програмного забезпечення по визначенню опору гілок-виробок, необхідно попередньо ввести у комп'ютер усю схему вентиляційної мережі і активізувати модель вентилятора головного провітрювання (вибрати вентилятор і відповідну робочу характеристику). Далі вводяться аеродинамічні опори тих гілок, де вони відомі, тобто порашовані по вимірній депресії і витратам повітря. Після цього вводяться депресії в гілки-виробки, де вимірювалася тільки депресія, а також витрати повітря у гілки-виробки, де вимірювалися тільки витрати. «Натискання» однієї віртуальної клавіші дає необхідний результат: аеродинамічні опори всіх гілок де був вимірний тільки один аеродинамічний параметр (депресія чи витрата повітря).

Можливість визначення опору по виміру депресії чи витраті повітря за допомогою комп'ютерної моделі базується на властивості вентиляційної мережі формувати приведені характеристики гілок-виробок у неявній формі. Враховуючи таку можливість, треба ще на стадії підготовки до депресійної зйомки визначити перелік виробок, де треба вимірювати тільки депресію, а де – тільки витрату повітря.

Кількість вимірів на кожній шахті можна значно скоротити, якщо підтримувати базу даних для комп'ютерної моделі ШВМ і постійно її коректувати. У більшості випадків достатньо тільки вимірювати депресію нових вентиляційних споруд чи витрати повітря у нових виробках.

Використання програмного забезпечення для обробки результатів шахтних вимірів дає значну економію працевтрат і зменшує похибки розрахунків.

3.4 Моделювання розподілу повітря

Важливим етапом підготовки моделі ШВМ до використання, є моделювання «нормального» варіанту розподілу повітря в шахті. Назва «нормальний» чи «нульовий» означає, що на підставі цього розподілу повітря і депресії в комп'ютерній моделі будуть вирішуватися всі інші задачі

вентиляції. Інакше кажучи, «нормальний» варіант розподілу повітря повинен відповідати тому, який був під час вимірів. Поняття «нормальний» використовується для порівняння з розподілом повітря у аварійних умовах. Отже, перший етап моделювання нормального розподілу повітря в шахтній вентиляційній мережі пов'язаний, в першу чергу, із забезпеченням відповідності режиму провітрювання гірничих виробок у реальній шахті і результатів моделювання ШВМ. Модель ШВМ можна вважати «працездатною», якщо витрати повітря в гірничих виробках і гілках-виробках відрізняються не більше ніж на 10 %. В іншому випадку необхідна перевірка вихідної інформації про аеродинамічні опори гірничих виробок, а також відповідності схеми вентиляції шахти з комп'ютерною схемою-мережею. Перевірку можна починати з виїмкових дільниць і, рухаючись по ходу (чи проти ходу) вентиляційного струменю в напрямку стволів, порівнювати витрати повітря, отримані на моделі з результатами вимірів. При їх розбіжності (за умови, що схема-мережа відповідає схемі вентиляції шахти), необхідно провести коректування аеродинамічних опорів гілок в схемі ШВМ. Необхідно також звертати увагу на те, чи враховувалася дія природної тяги при визначенні опору окремих гілок-виробок.

Під час моделювання нормальних умов вентиляції і аварійних вентиляційних режимів слід враховувати можливі похибки моделі. Однією з таких похибок є різна за величиною реакція реальної мережі і комп'ютерної моделі на зміну опору окремих виробок. «Різна» реакція означає, що, наприклад, при моделюванні зміни опору якоїсь виробки, витрата повітря у наближених до неї виробках зміниться на 30 %, а така ж дія в реальних умовах шахти призведе тільки до зміни на 15 %. Цей ефект має назву «затухання» збурення вентиляційного струменю у вентиляційних контурах. Отже, під час вирішення задач регулювання вентиляції за допомогою комп'ютерної моделі ШВМ, слід враховувати, що наслідки впливу окремих чинників на розподіл повітря в реальних умовах можуть бути меншими ніж результати, що отримані за допомогою моделі.

ЛІТЕРАТУРА

1. Абрамов Ф.А., Тянь Р.Б., Потемкин В.Я. Воздухораспределение в вентиляционных сетях шахт. – Киев: «Наукова думка». – 1975. – 267 С.
2. Болбат И.Е., Лебедев В.И., Трофимов В.А. Аварийные вентиляционные режимы в угольных шахтах. – М.: Недра. – 1992. – 206 С.
3. Каледина Н.О., Романченко С.Б., Трофимов В.А. Компьютерное моделирование шахтных вентиляционных сетей: Методические указания. – М.: Из-во Московского государственного горного университета. – 2004. – 72 С.
4. Медведев Б.И. и др. Аэрология горных предприятий. Сборник задач. – Киев: Лыбидь. – 1992. – 262 С.
5. Правила безпеки у вугільних шахтах. – Київ: Відлуння. – 2005. – 398 С.
6. Руководство по производству депрессионных и газовых съемок в угольных шахтах. – Донецк. НИИГД. – 1989. – 74 С.
7. Руководство по проектированию вентиляции угольных шахт. – Киев: Основа. – 1994. – 311 С.
8. Ушаков К.З. и др. Аэрология горных предприятий. – М.: Недра. – 1987. – 421 С.
9. Харев А.А. Местные сопротивления шахтных вентиляционных сетей. – М.: Углетехиздат. – 1954. – 247 С.
10. Бодягин М.Н. Рудничная вентиляция. – М.: Госгортехиздат. Государственный НТИ литературы по горному делу, 1960. – 400 С.