

ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ГІРНИЧИЙ ФАКУЛЬТЕТ  
КАФЕДРА ОХОРОНИ ПРАЦІ ТА АЕРОЛОГІЇ

**АЕРОЛОГІЯ І КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ  
ВЕНТИЛЯЦІЙНИХ МЕРЕЖ**

**КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ**

Напрямок підготовки: 6.050503 «Машинобудування»,  
6.050301 «Гірництво»

УДК 622.4

**Аерологія і комп'ютерне моделювання вентиляційних мереж.** Конспект лекцій.

Трофимов В.О., Кавера О.Л. – Донецьк: ДонНТУ. – 2013. – 82 С.

Конспект лекцій містить загальні засади аерології вугільних шахт, особливості визначення аеродинамічних параметрів і характеристик елементів вентиляційної мережі, чинники які формують режим вентиляції гірничих виробок, основи проектування шахтної вентиляції, методичні засади підготовки бази даних і створення віртуальних моделей шахтних вентиляційних мереж.

© Трофимов В.О., Кавера О.Л.

**Затверджено**

на засіданні навчально-видавничої ради ДонНТУ

протокол № 2 від «11» квітня 2013 р.

## ЗМІСТ:

1. Шахтне повітря .....	4
2. Метан .....	7
3. Основні закони, поняття і визначення рудничної аерології .....	11
4. Аеродинамічний опір гірничих виробок.....	13
5. Шахтні вентиляційні мережі .....	16
6. Природна тяга.....	20
7. Робота вентиляторів на шахтну вентиляційну мережу.....	25
8. Регулювання витрати повітря у гірничих виробках.....	27
9. Вентиляційні установки і споруди .....	30
10. Витоки повітря .....	33
11. Пиловий режим шахт .....	35
12. Провітрювання виїмкових ділянок .....	38
13. Провітрювання підготовчих виробок.....	41
14. Способи провітрювання і схеми вентиляції шахт .....	46
15. Проектування вентиляції шахт.....	49
16. Тепловий режим шахт.....	55
17. Стійкість провітрювання гірничих виробок .....	58
18. Аварійні вентиляційні режими на вугільних шахтах.....	60
19. Вентиляційна служба шахт.....	66
20. Теоретичні засади регулювання повітророзподілення .....	69
21. Фізичні і аеродинамічні кордони гірничої виробки.....	71
22. Особливості змін аеродинамічного опору виробок .....	73
23. Засади моделювання шахтної вентиляційної мережі.....	74
Список літератури.....	82

# 1. ШАХТНЕ ПОВІТРЯ

## 1.1 Атмосферне повітря

Атмосферне повітря – це газоподібна оболонка, що оточує земну поверхню і складається із суміші газів і пар. Його склад, внаслідок високої турбулізації, постійний над земною поверхнею до висот порядку 20 км. Різкі коливання складу повітря, як правило, зв'язані з різним характером поверхні землі і діяльністю людей. В останні десятиліття склад атмосфери перетерплює безупинні зміни, викликані діяльністю людської цивілізації. Підвищується зміст вуглекислого газу і фреону. Перший, на думку вчених, сприяє виникненню парникового ефекту, а другий – озонових дір.

Середній склад атмосферного повітря на рівні моря (у відсотках від об'єму) включає азот (78,08 %), кисень (20,95 %), аргон (0,93 %), вуглекислий газ (0,03 %) і групу різних газів, включаючи інертні (0,01 %).

Зміст пилу в атмосфері підвищено над материками, але іноді потоки повітря заносять пил у частину атмосфери над морями і океанами.

## 1.2 Повітря в гірничих виробках

Атмосферне повітря, що надійшло в гірничі виробки і заповнило їх, у процесі свого руху, називається *рудничним чи шахтним повітрям*. Найбільш істотні зміни повітря відбуваються у виробках очисних і підготовчих дільниць. Тому, умовно, шахтне повітря, що заповнює гірничі виробки до вибоїв очисних і підготовчих виробок, називається *свіжим*, а повітря, що заповнює виробки за вибоями (за лавами і тупиковою частиною підготовчих виробок) – *відпрацьованим*. Відповідно до цього поділу, струмінь повітря, що рухається від поверхні до вибоїв, називається *надходячим (свіжим)*, а від вибоїв до поверхні землі – *вихідним*.

Атмосферне повітря, потрапляючи в гірничі виробки, змінює свої фізичні параметри, хімічний склад і забруднюється різними домішками.

Тиск повітря збільшується зі збільшенням глибини залягання гірничих виробок. Робота вентиляторів головного провітрювання незначно впливає на тиск. При усмоктувальному способі провітрювання шахти, воно трохи зменшується, а при нагнітальному – збільшується.

Головна особливість теплового стану рудничного повітря, у порівнянні з атмосферним, полягає в зменшенні добових і сезонних коливань температури, а також, у підвищенні температури, у порівнянні із середньорічною температурою повітря на поверхні землі. Наприклад, на рудниках ПАР, температура повітря досягає 60°C, на глибині до 5 км.

Підвищення вологості повітря відбувається за рахунок припливу у виробки підземних вод і може складати від 60 до 100 %.

Склад повітря, при русі по гірничих виробках, постійно змінюється. Зменшується зміст кисню, збільшується зміст вуглекислого газу і азоту, з'являється ряд газів, що не містяться в рудничній атмосфері.

Зміст газів у повітрі характеризується їхньою концентрацією – відношенням кількості даного газу (в об'ємній чи ваговій одиницях) до всієї кількості газоповітряної суміші. Найчастіше використовується об'ємна концентрація, виражена у відсотках.

### 1.3 Склад рудничного повітря

До складу рудничного повітря (як і атмосферного) входять кисень, вуглекислий газ і азот. Крім цього в рудничному повітрі можуть бути присутнім вибухові, отруйні, радіоактивні, інертні гази і пари.

**Кисень (O<sub>2</sub>)** – газ без кольору, смаку і запаху. Його густина дорівнює (стосовно густини повітря) 1,11 при температурі 0°C і тиску 760 мм. рт. ст.

Відповідно до Правил безпеки, зміст кисню в рудничному повітрі повинне бути не менш 20 %.

Зміст кисню в гірничих виробках зменшується внаслідок його участі в окисних процесах і заміщенні різними газами, які виділяються з вугілля і гірничих порід (метан, вуглекислий газ та ін.). До окисних процесів, що поглинають кисень, у першу чергу, відноситься окислювання корисних копалин. Крім того, зменшення змісту кисню відбувається унаслідок вибухових і зварювальних робіт, роботи двигунів внутрішнього згоряння, також при рудничних пожежах, вибухах метану і вугільного пилу.

При зниженні концентрації кисню приблизно до 17 % настають задишка і підвищене серцебиття, а при 12 % атмосфера стає смертельно небезпечною.

**Вуглекислий газ (CO<sub>2</sub>)** – газ без кольору, із слабо кислим запахом. Густина – 1,52. Хімічно інертний, не горить і не підтримує горіння.

Розрізняють три види виділення вуглекислого газу в гірничі виробки: звичайне, суфлярне і раптове.

При звичайному виділенні CO<sub>2</sub> входить у рудничну атмосферу безпосередньо з оголеної поверхні гірничого чи породного масиву, утворюється при здрібнюванні гірничої маси.

При суфлярному виділенні газ інтенсивно входить у виробки через великі тріщини в гірничому масиві. Дебіт суфлярів, згодом, зменшується. У Донецькому вугільному басейні відносна вуглекислотність шахт не перевищує 15 м<sup>3</sup>/т.

Вугільні шахти по виділенню вуглекислого газу поділяються на 4 категорії: I – до 5 м<sup>3</sup>/т, II – від 5 до 10 м<sup>3</sup>/т, III – від 10 до 15 м<sup>3</sup>/т і надкатегорна – більш 15 м<sup>3</sup>/т. Цей розподіл використовується при розрахунку кількості повітря для провітрювання шахт.

Максимальні припустимі концентрації CO<sub>2</sub> у шахтах і рудниках:

- робочі місця і загальні вихідні струмені дільниць: 0,5 %;
- загальна вихідна крила, шахти: 0,75 %;
- проведення і відновлення виробок по завалу: 1 %.

**Азот (N<sub>2</sub>)** – газ без кольору, смаку і запаху. Густина – 0,97. Хімічно інертний. У рудничне повітря входить з вугілля і порід. Крім того, N<sub>2</sub> утворюється при підричних роботах і гнитті органічних речовин. Зміст азоту в рудничному повітрі не нормується.

### 1.4 Небезпечні домішки в рудничному повітрі

До отруйних домішок рудничного повітря відносяться оксид вуглецю, оксиди азоту, сірчистий газ і сірководень.

**Оксид вуглецю (CO)** – газ без кольору, смаку і запаху з густиною 0,97. Горить і вибухає при концентрації від 12,5 до 75 %. Температура запалення, при концентрації 30 % – 630-810°C. Дуже отруйний. Смертельна концентрація – 0,4 %.

Припустима концентрація в гірничих виробках – 0,0017 %. Основна допомога при отруєнні – штучне дихання у виробці зі свіжим повітрям.

Джерелами окису вуглецю є підривні роботи, роботи двигунів внутрішнього згоряння, рудничні пожежі і вибухи метану і вугільного пилу.

**Сірководень ( $H_2S$ )** – газ без кольору, із солодкуватим смаком і запахом тухлих яєць. Густина – 1,19. Сірководень горить, а при концентрації 6 % вибухає. Дуже отрутний, дратує слизуваті оболонки дихальних шляхів і очей. Смертельна концентрація – 0,1 %. Перша допомога при отруєнні – штучне дихання на свіжому струмені, вдихання хлору (за допомогою хустки, змоченого хлорним вапном).

Сірководень виділяється з гірничих порід і мінеральних джерел. Утворюється при гнитті органічних речовин, рудничних пожежах і підривних роботах.

Сірководень добре розчиняється у воді. Це необхідно враховувати при пересуванні людей по закинутих виробках.

Припустимий зміст  $H_2S$  у рудничному повітрі не повинне перевищувати 0,00071 %.

**Сірчистий газ ( $SO_2$ )** – газ без кольору, із сильним дратівним запахом і кислим смаком. Важчий за повітря в 2,3 рази. Дуже отрутний, дратує слизуваті оболонки дихальних шляхів і очей, викликає запалення бронхів, набряк гортані і бронхів.

Сірчистий газ утворюється при підривних роботах (у сірчистих породах), пожежах, виділяється з гірничих порід.

Припустимий зміст у рудничному повітрі – 0,00038 %. Концентрація 0,05 % небезпечна для життя.

**Оксиди азоту ( $NO$ ,  $NO_2$ )** – мають бурий колір і характерний різкий запах. Дуже отрутні, викликають роздратування слизуватих оболонок дихальних шляхів і очей, набряк легень. Смертельна концентрація, при короткочасному вдиханні – 0,025 %. Граничний зміст оксидів азоту в рудничному повітрі не повинне перевищувати 0,00025 % (у перерахуванні на двоокис азоту  $NO_2$ ).

**Аміак ( $NH_3$ )** – газ без кольору, із різким дратівним запахом. Густина – 0,596. Добре розчинний у воді. Вибухає при концентрації 30 %.

Аміак отрутний, дратує слизуваті оболонки і шкіру, а при високих концентраціях викликає набряк гортані.

Утворюється  $NH_3$  при розкладанні азотовмісних з'єднань. Виділяється в повітря після підривних робіт, при гасінні пожеж. Припустимий зміст у рудничному повітрі – 0,0025 %.

**Акролеїн ( $C_3H_4O$ )** – безбарвна, що легко випаровується рідина. Утвориться при розкладанні дизельного палива під дією високої температури. Добре розчинний у воді, в атмосфері може бути присутнім у виді пари.

Акролеїн дуже отрутний, дратує слизуваті оболонки, викликає запаморочення, нудоту, болі в шлунку, блювоту. Максимально припустима концентрація в повітрі – 0,00008 %.

**Водень ( $H_2$ )** – газ без кольору, із густиною – 0,07. Горить і вибухає при концентрації від 4 до 74 %. Виділяється в рудничне повітря з порід і вугілля, а також утворюється в шахтах при зарядці акумуляторних батарей.

Шахти (рудники) небезпечні по виділенню водню поділяються на чотири категорії, по кількості пальних газів ( $CH_4 + H_2$ ), що виділяються на 1 м<sup>3</sup> добового

видобутку гірничої маси: I – до 7 м<sup>3</sup>, II – від 7 до 14 м<sup>3</sup>, III – від 14 до 21 м<sup>3</sup> і понад 21 м<sup>3</sup>. При цьому приймається, що 1 м<sup>3</sup> водню еквівалентний 2 м<sup>3</sup> метану.

Максимально припустима концентрація водню в повітрі 0,5 %.

**Радіоактивні домішки** в рудничному повітрі зустрічаються у виді газоподібних продуктів (еманацій) розпаду деяких руд. Найчастіше зустрічаються радон, торон і актион. Небезпека еманацій полягає у їхньому іонізуючому випромінюванні. Продукти розпаду еманацій, у свою чергу, випромінюють  $\alpha$ -,  $\beta$ - і  $\gamma$ -промені.

Санітарна норма радону в рудничному повітрі  $100 \cdot 10^{-11}$  кюрі/л.

Крім вищеперелічених газів у шахтах (рудниках) зустрічаються альдегіди, пари миш'яку, ртуті, ціаністий водень. Усі вони дуже отрутні. З важких вуглеводнів зустрічається етан, пропан, бутан. Вони можуть виділятися з вугілля і утворюватися при підричних роботах. Усі вони вибухонебезпечні.

## 2. МЕТАН

Метан є основною, найбільш розповсюдженою частиною рудничного газу. У літературі і на практиці, метан, найчастіше ототожнюється з рудничним газом. У рудничній вентиляції цьому газу приділяється найбільша увага через його вибухові властивості.

### 2.1 Фізико-хімічні властивості метану

Метан (CH<sub>4</sub>) – газ без кольору, смаку і запаху. Густина – 0,554. Метан інертний, але, витісняючи кисень, може становити небезпеку для людей. Запалюється при температурі 650-750°C. З повітрям метан утворює палні і вибухові суміші. При змісті в повітрі до 5-6 % горить у джерела тепла, від 5-6 % до 14-16 % – вибухає, понад 14-16 % – не вибухає. Найбільша сила вибуху при концентрації 9,5 %.

Одна з властивостей метану – запізнювання спалаху, після контакту з джерелом запалення. Час запізнювання спалаху називається індукційним періодом. Наявність цього періоду створює умови для попередження спалаху при підричних роботах, застосовуючи запобіжні вибухові речовини (ВР).

Тиск газу в місці вибуху приблизно в 9 разів вище початкового тиску газоповітряної суміші до вибуху. При цьому може виникати тиск до 30 ат і вище. Різні перешкоди у виробках (звуження, виступи і т.д.) сприяють підвищенню тиску і збільшують швидкість поширення вибухової хвилі в гірничих виробках.

При вибуху метану в шахтах спостерігаються два удари – прямий і зворотний. Прямий удар – вибухова хвиля від джерела запалення. Вона запалює вилучені від центра вибуху обсяги метану. Зворотний удар – це вибухова хвиля, що поширюється у зворотному напрямку, до центра вибуху, унаслідок розрядження після конденсації води, що утвориться при вибуху пару.

### 2.2 Зв'язок метану з породами

У породах метан знаходиться у двох станах: у вигляді вільного і сорбованого (зв'язаного) газу. У шахтах основна кількість метану знаходиться в сорбованому стані. Розрізняють три форми зв'язку метану з твердою речовиною: *адсорбцію*

(зв'язування молекул газу на поверхні твердої речовини під дією сил молекулярного притягання), *абсорбцію* (проникнення молекул газу у тверду речовину без хімічної взаємодії) і *хемосорбцію* (хімічна сполучення молекул газу і твердої речовини). Метан знаходиться, в основному, в адсорбованому стані.

З підвищенням тиску, кількість сорбованого метану збільшується, з підвищенням температури – зменшується.

### 2.3 Метаноносність і метаноємкість

Метаноносність – кількість метану, що міститься в природних умовах в одиниці ваги (об'єму) вугілля чи породи ( $m^3/t$ ,  $m^3/m^3$ ).

Метаноємкістю називається кількість газу у вільному і сорбованому стані, що може поглинути одиниця ваги чи об'єму (вугілля чи породи) при даному тиску і температурі ( $cm^3/g$ ,  $cm^3/cm^3$ ).

Основні фактори, що визначають метаноносність вугільних відкладень, це ступінь метаморфізму вугілля, здатності до сорбування, пористість і газопроникність відкладень, вологість, геологічна історія родовища, глибина залягання, гідрогеологія і вугленасиченість родовища.

### 2.4 Виділення метану в шахтах

У гірничі виробки метан виділяється з оголеної поверхні вугільних пластів, з відбитого вугілля, із віддробленого простору, з оголеної поверхні порід.

Види виділення метану: звичайне, суфлярне, раптове.

*Звичайне* – метан виділяється з оголеної поверхні вугільного масиву через дрібні, невидимі тріщини. Величина цього газовиділення збільшується зі збільшенням газоносності, газопроникності вугілля і газового тиску. Максимальне газовиділення – відразу після розкриття вугільного шару.

Час, минулий після розкриття шару, до моменту припинення газовиділення з його поверхні, називається *періодом дренавання*. У зоні дренавання метаноносність змінюється від деякої мінімальної величини, на крайці оголення шару, до метаноносності недоторканого масиву на границі зони. Виділення метану з оголеної поверхні шару залежить від інтенсивності виробничих процесів: зарубування, видобутку вугілля і керування покрівлею.

*Суфлярне* виділення метану – це виділення з великих, видимих на око тріщин і порожнеч у вугіллі і породах. Можливий дебіт суфляру – до десятків тисяч  $m^3$  на добу, тривалість дії – від декількох годин до декількох років.

Суфляри становлять небезпеку через несподівану прояву і різке підвищення концентрації метану в гірничій виробці. Крім того, суфляр може бути однією з причин виникнення шарового скупчення метану.

По походженню зустрічаються природні і експлуатаційні. Природні суфляри зустрічаються в зонах геологічних порушень, а експлуатаційні – у процесі виїмки вугілля.

Профілактика суфлярних виділень метану ведеться за допомогою попередньої дегазації масиву, посилення провітрювання небезпечних виробок, каптажу газу. При каптажі, устя суфляру оточується герметичним кіоском, а газ по трубопроводу йде на поверхню чи у вихідний струмінь шахти (крила шахти).

При *раптовому викиді* в гірничі виробки за короткий проміжок часу виділяється велика кількість метану і здрібненого вугілля (породи). При цьому у



вугільному пласті (масиві порід) утворюються характерні порожнини. При викиді виділяється від сотень до 500 тис. м<sup>3</sup> метану, кількість вугілля – до декількох тис. т.

Раптові викиди, найчастіше, відбуваються при розкритті пластів, при перетинанні зон геологічних порушень. Раптові викиди із пласта відбуваються на дільницях зі зниженою міцністю і слабким контактом з породами, що вміщують.

У раптових викидів є попереджувальні ознаки: удари, поштовхи, гул у вугільному масиві, опадання і відскокування вугілля на поверхні пласта у вибої, віджим вугілля, підвищене газовиділення.

Викид може виникнути після струсів масиву в ході виїмкових робіт внаслідок утворення зон підвищеної концентрації напруги (кути і уступи вибою).

Таким чином, основні причини виникнення викиду є: гірничий тиск, енергія газу у вугіллі і фізико-механічні властивості вугільного пласта.

*Газовиділення з відбитого вугілля* проявляється, в основному, у вибої при відділенні вугілля від масиву і при навантаженні на конвеєр. Разом з тим, при підвищеній швидкості руху вибою, концентрація метану зростає по всьому конвеєрному ланцюжку.

Основне виділення метану з відбитого вугілля відбувається протягом години після його відділення від масиву. Через 10-12 годин газовиділення практично припиняється. Деяка кількість газу, що залишилася у вугіллі, *називають залишковою газоносністю*. Для більшості вугілля вона може скласти 2-5 м<sup>3</sup>/т.

*Газовиділення з відроблених просторів*, відбувається у привибійний простір лав, у вентиляційні виробки виїмкових дільниць і у будь-які виробки, що примикають до відроблених просторів. Основні джерела виділення метану у вироблені простори – зближені вугільні пласти, цілини пласта, вугілля залишене у виробленому просторі і т.п. Газовиділення з відробленого простору, на будь-якій дільниці вентиляційного штреку, визначається як різниця кількості газу на початку і кінці цієї ділянки. Його величина може збільшитися при різкому падінні барометричного тиску. Це необхідно враховувати при веденні виїмкових робіт, обмежуючи, на цей період, навантаження на виїмкові механізми.

Нерівномірність газовиділення в шахті визначає коефіцієнт нерівномірності. Його величина залежить від інтенсивності виїмкових робіт, способу керування покрівлею, далекості виробки від джерела газовиділення, зміни барометричного тиску і величини абсолютного газовиділення. У цілому, по шахті, значення цього коефіцієнту менше, ніж для окремих дільниць.

Для правильної організації провітрювання шахти необхідно знати її газовий баланс. Він являє собою суму абсолютних метановостей джерел метановиділення. Газовий баланс залежить від системи розробки, способу керування покрівлею, обсягу відробленого простору, розвитку очисних і підготовчих робіт, властивостей вугілля і порід, що вміщують, гірничогеологічних умов. У Донбасі, частка метановиділення з відроблених просторів складає 25-35 %.

## 2.5 Керування метановиділенням

Керування метановиділенням у шахті полягає в його перерозподілі. Це досягається зміною схеми провітрювання виїмкової дільниці, системи чи розробки спеціальних заходів по керуванню вентиляцією відроблених просторів.

У «Посібнику з проектування вентиляції» представлено 52 схеми провітрювання виїмкових дільниць. Усі вони застосовуються в залежності від конкретних гірничогеологічних умов і прийнятої системи розробки. Для зменшення метановиділення застосовуються різні способи дренування метану з віддробленого простору, зближених пластів і пласта, що розроблюється.

Неприпустимі концентрації метану в гірничих виробках, на шахтах небезпечних по газу, визначені Правилами безпеки і складають:

- вихідний струмінь з тупикової виробки, камери, підтримуваної виробки – більш 1 %;
- вихідний струмінь з очисної виробки, виїмкової дільниці при відсутності АКМ – більш 1 %;
- вихідний струмінь з очисної виробки, виїмкові дільниці при наявності АКМ – більш 1,3 %;
- вихідний струмінь крила, шахти – 0,75 %;
- струмінь що надходить на виїмкову дільницю, до очисних та підготовчих вибоїв і камер – 0,5 %;
- місцеві та шарові скупчення метану – більше 2 %;
- на виході зі змішувальних камер – більше 2 %;
- трубопроводи для ізольованого відводу метану за допомогою вентиляторів (ежекторів) – більше 3,5 %;
- дегазаційні трубопроводи – від 3,5 до 25 %.

## 2.6 Заходи щодо боротьби з метаном у шахтах

На газових шахтах застосовується комплекс мір, спрямований на попередження небезпечних скупчень метану, попередження запалення метану, обмеження наслідків вибухів, попередження прояву суфлярів і раптових викидів.

Ефективною вважається така вентиляція, при якій у рудничній атмосфері підтримуються припустимі концентрації метану. Розподіл повітря по шахті визначається відповідними розрахунками і забезпечується за допомогою вентиляційних споруд (вентиляційні двері, вікна, прорізи, кросинги і т.п.). Крім того, необхідно передбачати спеціальні заходи для попередження утворення шарів метану під покрівлею гірничих виробок. Довжина таких шарів може складати десятки метрів. Така загроза існує там, де швидкість повітря складає менше 1,0 м/с. У виробці з низхідним рухом повітря шар метану може рухатись назустріч повітрю. Виробки з вихідним (відпрацьованим) повітрям повинні бути з висхідним провітрюванням, а для забезпечення додаткового перемішування вентиляційного потоку потрібно використовувати спеціальні пристрої і вентилятори місцевого провітрювання.

У тих випадках, коли можливості вентиляції шахти, по зниженню концентрацій метану, вичерпані, необхідно застосовувати дегазацію. Усі методи дегазації можна розділити на дві групи: оперативна дегазація (застосовувана в ході виїмкових робіт) і попередня – до початку видобутку вугілля. У першу групу можна включити дегазацію зближених пластів і розроблювального шару шпарами і виробками, газовідсмоктування з віддроблених просторів, нагнітання води в пласт. Способи попередньої дегазації містять у собі підробіток (надробіток) зближених пластів, проведення дегазаційних виробок, буріння дегазаційних шпар, чи гідророзчленування пластів.

### 3. ОСНОВНІ ЗАКОНИ, ПОНЯТТЯ І ВИЗНАЧЕННЯ РУДНИЧНОЇ АЕРОЛОГІЇ

#### 3.1 Аеростатика

*Аеростатика* – наука про рівновагу газів. Однією з основних її задач, є визначення зміни тиску з висотою (глибиною) у нерухомому повітрі. Це тиск, називається *аеростатичним* і являє собою вагу вищележачих шарів повітря. При відсутності руху повітря, на нього діє тільки сила ваги.

У загальному виді, основне рівняння аеростатики має наступний вид

$$dp = \rho g dz, \quad (1)$$

де  $\rho$  – густина повітря.

Тиск повітря ( $p$ ), на якійсь глибині ( $z$ ), можна визначити по барометричній формулі

$$p = p_0 + \rho g z, \quad (2)$$

де  $p_0$  – початковий тиск.

З барометричної формули випливає, що тиск у виробці не залежить від площі її перерізу.

Важливою властивістю повітряного середовища є те, що тиск у даній точці однаковий у всіх напрямках і зміна тиску, на поверхні землі приводить до зміни тиску у всіх точках середовища. Ця властивість називається *законом Паскаля*. Відповідно до нього, при зміні тиску на поверхні землі на  $n$  одиниць, у всіх виробках шахти тиск також зміниться на  $n$  одиниць.

Під атмосферним тиском у шахті розуміється аеростатичний тиск (скорочено – статичний).

#### 3.2 Аеродинаміка

Повний тиск повітря ( $p$ ), що рухається, в кожній точці потоку складається зі статичної ( $p_{ст}$ ) і динамічної ( $p_{дин}$ ) складових. Закон Бернуллі – сума статичного і динамічного тисків незмінна для усіх точок одного перерізу потоку повітря. Тоді статичний тиск на стінці каналу, по якому рухається повітря, там, де швидкість потоку дорівнює нулю ( $V=0$ ), дорівнює повному тиску у потоці. Статичний тиск характеризує потенційну енергію потоку повітря, а динамічний чи швидкісний тиск – кінетичну енергію повітря, що рухається.

$$p = p_{ст} + p_{дин} = const. \quad (3)$$

Закон збереження маси, що рухається визначає, що маса будь-якого обсягу повітря залишається постійною у процесі його руху. Іншими словами, зміна маси в часі дорівнює нулю.

Для елементарного потоку, між двома його перерізами можна записати (якщо вважати, що густина повітря по шляху його руху незмінна)

$$V_1 S_1 = V_2 S_2,$$

де  $S_1, S_2$  – площі початкового і кінцевого перерізів елементарного потоку;  
 $V_1, V_2$  – швидкості руху повітря через ці перерізи.

Для об'ємної кількості повітря по всьому перерізу:

$$Q_1 = Q_2. \quad (4)$$

Для масової кількості (неізотермічний потік):

$$M_1 = M_2.$$

Депресія ( $h_o$ ) гірничої виробки (різниця статичного тиску між початком і кінцем виробки в повітрі, що рухається) визначається за допомогою рівняння

$$(p_1 - p_2) - z_c g(\rho_1 \pm \rho_2)/2 = h_o, \quad (5)$$

де  $p_1, p_2$  – відповідно, стичний тиск повітря на початку і в кінці виробки;  $z_c$  – висота стовпа повітря між початком і кінцем виробки (для похилої чи вертикальної виробки);  $\rho_1, \rho_2$  – густина повітря на початку і в кінці виробки.

Величина у перших дужках – різниця статичних тисків між початком і кінцем виробки, виміряна на стінці виробки (там де швидкість руху повітря дорівнює нулю). У других дужках – статичний тиск стовпа повітря між початком і кінцем виробки (густина повітря в стовпі визначається як середня між початковою і кінцевою). Для горизонтальної виробки –  $z_c = 0$ .

Величина  $(p_1 - p_2)$  з'являється внаслідок сумісної роботи вентилятора і природної тяги ( $h_e$ ). Природна тяга виникає при різній густині повітря у двох стовпах повітря. Її величину ( $h_e$ ) можна порахувати як різницю тисків  $zg(\rho_{cp1} - \rho_{cp2})$  двох стовпів повітря однакової висоти з різною середньою густиною ( $\rho_{cp1}, \rho_{cp2}$ ). Вважаємо, що робота вентиляторів головного провітрювання не впливає на густину шахтного повітря. Природна тяга формується природним фактором – наприклад, температурою порід.

Для спрощеної шахти з двома стволами (відкритий контур без каналу вентилятора і шляху зовнішніх підсмоктувань ) можна записати, що депресія шахти дорівнює сумі депресії вентилятора, яка припадає на шахту ( $h_{e.ш.}$ ) і природної тяги, що формується в шахтних стволах ( $h_{e.c.}$ )

$$h_{e.ш.} \pm h_{e.c.} = h_{ш.} \quad (6)$$

З рівняння (6) впливає загальне формулювання закону збереження енергії при русі повітря по виробках шахтної мережі: при усталеному русі повітря по виробках, енергія (статична депресія) від зовнішніх і внутрішніх джерел тяги, цілком витрачається на подолання опору шляху руху повітря.

Повний статичний тиск вентилятора ( $h_{e.n.}$ ) визначається як сума депресії мережі вентилятора со сторони всмоктування ( $h_{e.в.}$ ) і сторони нагнітання (депресія дифузору –  $h_d$ ) вентиляторної установки

$$h_{e.n.} = h_{e.в.} \pm h_d. \quad (7)$$

Дія природної тяги може збігатися з дією вентилятора, чи протидіяти роботі вентилятора ( $\pm h_e$ ).

### 3.3 Режими руху повітря

Спокійний рух повітря по будь-якому каналу без перемішування між окремими шарами потоку, називається *ламінарним*. Бурхливий рух повітря, що характеризується перемішуванням між окремими шарами потоку, називається *турбулентним*. Основна різниця між цими видами руху полягає в тому, що під час ламінарного руху, обмін між шарами потоку відбувається на молекулярному рівні, а при турбулентному – відбувається обмін обсягами.

Режим руху повітря в каналі (виробці) визначає спеціальний критерій – *число Рейнольдса* (Re)

$$\text{Re} = \frac{4V_{cp}S}{P\nu}, \quad (8)$$

де  $V_{cp}$  – середня швидкість руху повітря у виробленні;

$S$  – площа поперечного перерізу виробки;

$P$  – периметр виробки;

$\nu$  – кінематична в'язкість повітря.

Для шахтних виробок критичне значення числа Рейнольдса дорівнює 1000-1500. Мінімальна швидкість повітря, при якій рух повітря ще залишається турбулентним, дорівнює 0,006-0,01 м/с. Тому, в гірничих виробках, провітрюваних діяльним вентиляційним струменем, рух повітря, як правило, турбулентний.

Усі повітряні потоки у виробках можна розділити на два типи: обмежені (із твердими межами) і вільні (вільні струмені), що не мають твердих границь. У гірничих виробках твердими границями є стінки виробок. Вільні струмені утворюються при виході обмеженого потоку в необмежений (досить велике) простір. Наприклад, вихід потоку в камеру великого перерізу, чи з трубопроводу у виробку. Якщо, на якійсь ділянці вільний струмінь стикається з твердою поверхнею і не одержує повного розвитку, він називається неповним. Далекобійність турбулентного струменя визначається по формулі В.Н. Вороніна

$$l = 0,5\sqrt{S}\left(1 + \frac{1}{2\alpha}\right), \quad (9)$$

де  $S$  – площа поперечного перерізу виробки;

$\alpha$  – коефіцієнт структури струменя.

## 4. АЕРОДИНАМІЧНИЙ ОПІР ГІРНИЧИХ ВИРОБОК

Закон опору в рудничній вентиляції описує зв'язок між втратою тиску і витратою повітря у гірничій виробці. Ця залежність визначена експериментально і, у загальному випадку, має вигляд

$$h = R Q^n. \quad (10)$$

Величина показника ступеня визначає тип руху повітря – ламінарний чи турбулентний. При ламінарному, показник ступеня дорівнює 1, а при турбулентному – 2. У деяких випадках можливі проміжні значення. При фільтраційному просочуванні повітря через тріщини в масиві, завалені породи, величина показника міняється від 1 до 2.

При русі по гірничих виробках повітря може переборювати три види опорів:

- опір тертя об стінки виробок;
- лобові опори;
- місцеві опори.

**Опір тертя об стінки виробки.** У гірничих виробках основний опір руху повітря чинить опір кріплення. Формула, що зв'язує втрати тиску у виробці (трубопроводі) із витратою повітря і геометричними розмірами виробки має наступний вид

$$h = \frac{\beta \rho}{2} \frac{LP}{S^3} Q^2, \quad (11)$$

де  $\beta$  – безрозмірний коефіцієнт тертя, що залежить від шорсткості стінок виробки;  $P, L, S$  – периметр, довжина і площа перерізу виробки, відповідно.

Величини  $\beta$  та  $\rho$  поєднують в один коефіцієнт, названий *коефіцієнтом опору тертя*

$$\alpha = \frac{\beta \rho}{2}. \quad (12)$$

З урахуванням (12), формула для розрахунку депресії, набуває наступного вигляду

$$h = \alpha \frac{LP}{S^3} Q^2. \quad (13)$$

Величина

$$R = \alpha \frac{LP}{S^3} \quad (14)$$

називається аеродинамічним опором тертя, Па с<sup>2</sup>/м<sup>6</sup>.

Оскільки на шорсткість стінок гірничої виробки впливають елементи кріплення виробки, то її величина залежить від розташування цих елементів, тобто їхня подовжня щільність. Вплив подовжньої щільності елементів кріплення характеризується *подовжнім калібром кріплення*.

**Місцеві опори.** До місцевих опорів відносяться повороти, раптові розширення чи звуження гірничих виробок, вентиляційні вікна, розгалуження виробок, кросинги, канали вентиляторів і т.п. (рис. 1).

Депресія місцевого опору ( $h_{м.с}$ ) визначається як частина швидкісної енергії (швидкісний напір) витраченої на подолання опору

$$h_{м.с} = \xi \frac{V^2 \rho}{2}, \quad (17)$$

де  $\xi$  – безрозмірний коефіцієнт місцевого опору;  
 $V$  – швидкість повітря до (чи після) місцевого опору, м/с.

Величина  $\xi$  визначається дослідним шляхом. Так, наприклад, встановлено, що коефіцієнт місцевого опору раптового розширення більше, ніж для звуження в 1,47 рази.

У спрощеному виді формула для визначення величини місцевого опору (при відомій величині  $\xi$ ) має наступний вид

$$R = 0,6 \xi / S^2. \quad (18)$$

Величина площі перерізу  $S$  виробки визначається в місці відповідного виміру швидкості.

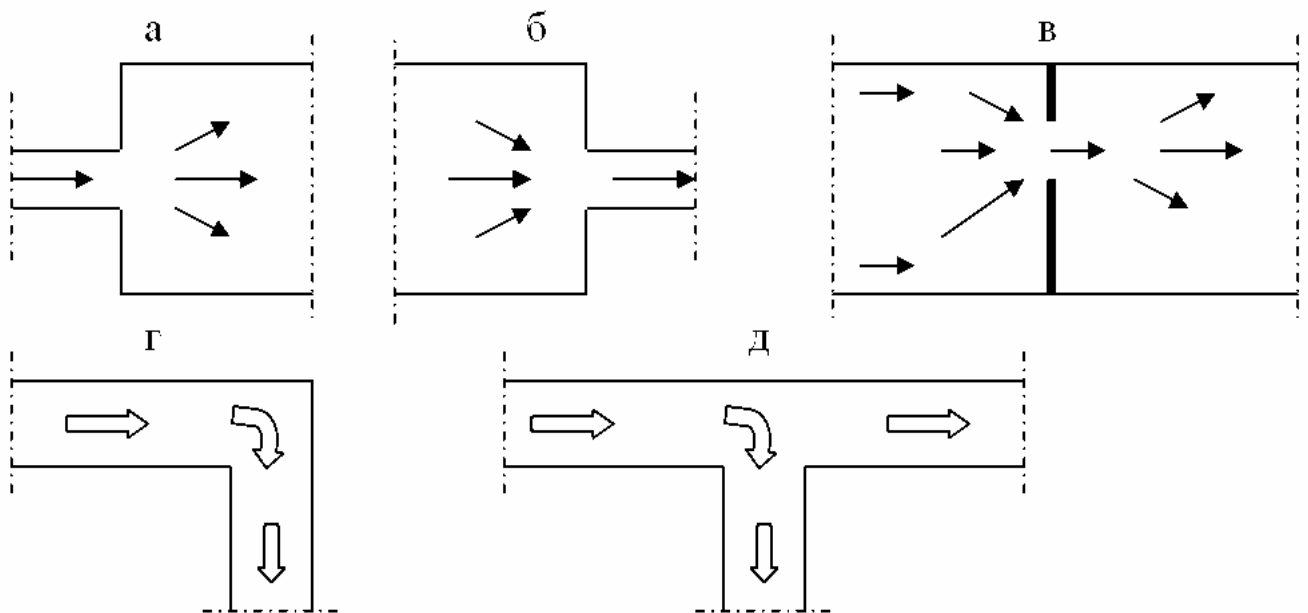


Рис. 1 – Місцеві опори в гірничих виробках

Величини місцевих опорів різних сполучень виробок розраховуються по формулах отриманим у гідравліці. Так, наприклад, для «трійників» (із прямокутними крайками), поділ основного струменя на два чи, навпаки злиттів струменів, величина коефіцієнта місцевого опору складає від 2 до 3,6. Величина складних місцевих опорів (поворот з одночасною зміною перерізу, подвійні повороти, кросинги і т.п.) визначається, як сума простих опорів, з урахуванням їх коефіцієнтів місцевого опору.

**Лобовий опір.** Втрата депресії на обтікання тіла довільної форми, яке поставлене поперек потоку повітря, пропорційна швидкісному напіру, так називаному міделеву перерізу тіла  $S_{мид}$  (найбільший переріз тіла в площині,

перпендикулярній повітряному потоку) і деякому коефіцієнту  $c$ , що залежить від форми тіла. Цей коефіцієнт безрозмірний і визначається дослідним шляхом. Його називають коефіцієнтом лобового опору. Експериментально встановлено, що при турбулентному русі повітря, його величина не залежить від швидкості потоку. Втрату депресії на лобовий опір, у загальному виді, виражає наступне рівняння:

$$h_{л.с} = \frac{cV^2\rho}{2} \frac{S_{мид}}{S - S_{мид}}. \quad (19)$$

Величину лобового опору визначає формула

$$R_{л.с} = 0,6 \frac{cS_{мид}}{(S - S_{мид})^3}. \quad (20)$$

Втрати депресії (енергії) на подолання лобового опору викликані, в основному, виникненням вихору за обтічним тілом.

## 5. ШАХТНІ ВЕНТИЛЯЦІЙНІ МЕРЕЖІ

Сукупність усіх шляхів, по яких рухається повітря, називається *шахтною вентиляційною мережею*. Сукупність гірничих виробок, вентиляційних споруд та пристроїв для розподілу повітря, вентиляторів головного і місцевого провітрювання називається шахтною вентиляційною системою. Отже, шахтна вентиляційна мережа це вентиляційна система, яку ми уявляємо, як мережу.

На шахтах, для зображення шляхів руху повітря, побудови маршрутів руху людей, трубопроводів, транспортних ланцюжків і т.д., використовуються схеми вентиляції шахт, схеми вентиляційних з'єднань і плани гірничих робіт.

Схеми вентиляції відбивають взаємне безмасштабне розташування гірничих виробок. Єдиний критерій розташування – зручність сприйняття. Схеми вентиляційних з'єднань показують безмасштабне з'єднання елементів (гілки-виробки) вентиляційної мережі. Їхнє призначення – це графічне представлення зв'язків всіх елементів шахтної схеми вентиляції на папері. На планах гірничих робіт взаємне розташування гірничих виробок представляється в масштабі, з урахуванням їх положення у часі.

На схемах вентиляційних з'єднань у виді вузла показують з'єднання (сполуку) трьох (двох) і більше виробок. Виробки, що з'єднують два вузли, називаються гілками. У той же час, окремі гілки можуть вміщувати кілька виробок з'єднаних послідовно.

Частина схеми, яка обмежена гілками, яка не має у середині інших гілок називається *елементарним вентиляційним контуром* (рис. 2). Гілки (1-2, 2-3, 3-4, 1-4), обмежуючі осередок, є елементами цього вентиляційного контуру. Усередині осередку інші гілки відсутні.



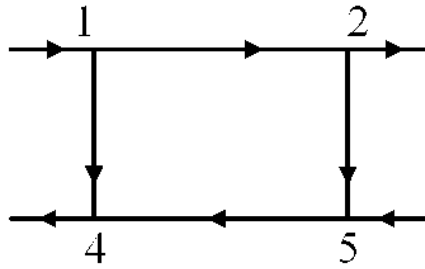


Рис. 2 – Елементарний вентиляційний контур

### 5.1 Види вентиляційних з'єднань гірничих виробок

В залежності від взаємного розташування виробок розрізняють три основних види їхніх з'єднань. Послідовне, паралельне і діагональне.

**Послідовне з'єднання.** З'єднання виробок без розгалужень називається послідовним. Наприклад, виїмкова дільниця складається з конвеєрного штреку (1-2), лави (2-3) і вентиляційного штреку 3-4 (рис. 3).

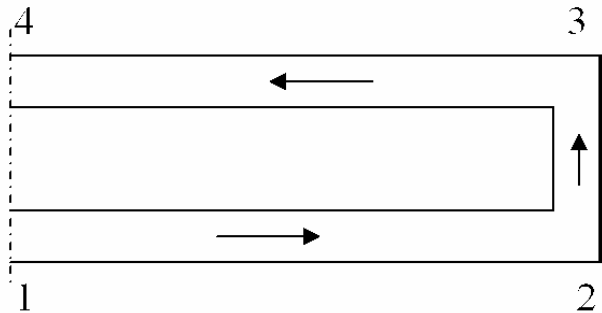


Рис. 3 – Спрощена схема виїмкової дільниці

Депресія послідовного з'єднання визначається, як сума депресій гілок, що входять у нього. Наприклад, для схеми на рис. 3, загальний опір послідовного з'єднання виробок дорівнює їхній сумі

$$R = R_{1-2} + R_{2-3} + R_{3-4}. \quad (21)$$

Витрата повітря у всіх виробках однакова ( $Q = Q_{1-2} = Q_{2-3} = Q_{3-4}$ ).  
Тоді, помноживши всі члени рівняння (21) на  $Q^2$ , одержимо

$$R Q^2 = R_{1-2} Q^2 + R_{2-3} Q^2 + R_{3-4} Q^2. \quad (22)$$

або

$$h = h_{1-2} + h_{2-3} + h_{3-4}. \quad (23)$$

Депресія послідовного з'єднання дорівнює сумі депресій гілок, що входять у нього.

**Паралельне з'єднання.** Паралельним з'єднанням виробок називається таке з'єднання, коли виробки зв'язані між собою тільки в двох загальних вузлах-сполученнях. Приклад простого паралельного з'єднання показаний на рис. 4. У паралельному з'єднанні різниця тисків (депресія) у вузлах для всіх гілок однакова.

Для схеми представленої на рис. 4 можна записати, що загальна депресія паралельного з'єднання дорівнює депресії кожної з його гілок

$$h = h_A = h_B. \quad (24)$$

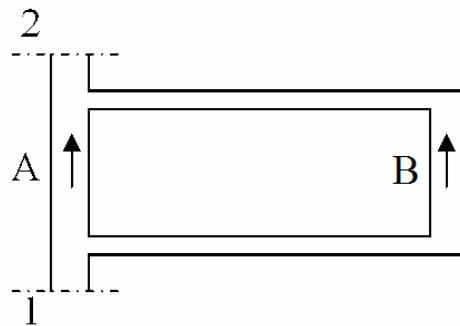


Рис. 4 – Просте паралельне з'єднання

Загальна витрата повітря в паралельному з'єднанні дорівнює сумі витрат в окремих гілках

$$Q = Q_A + Q_B. \quad (25)$$

Підставляючи замість витрат повітря, у рівнянні (25) співвідношення  $\sqrt{\frac{h}{R}}$ , з обліком (24) можна записати формулу для визначення загального опору паралельного з'єднання

$$\frac{1}{\sqrt{R}} = \frac{1}{\sqrt{R_A}} + \frac{1}{\sqrt{R_B}}, \quad (26)$$

чи в загальному вигляді

$$R = \frac{1}{\left( \frac{1}{\sqrt{R_1}} + \dots + \frac{1}{\sqrt{R_n}} \right)^2}. \quad (27)$$

В окремому випадку, коли  $R_1 = R_2 = \dots = R_n$ , можна записати

$$R = \frac{R_n}{n^2}. \quad (28)$$

Витрата повітря в одній з гілок ( $Q_1$ ) паралельного з'єднання (із двох гілок), можна визначити через загальну витрату повітря

$$Q_1 = \frac{Q}{1 + \sqrt{\frac{R_1}{R_2}}}. \quad (29)$$

Розподіл повітря, у гілках паралельного з'єднання, відбувається обернено пропорційно квадратному кореню з відношення опорів гілок.

**Діагональне з'єднання.** Діагональне з'єднання можна розглядати, умовно, як паралельне з'єднання двох виробок, зв'язаних між собою виробкою-діагоналлю (рис. 5, ділянка BC).

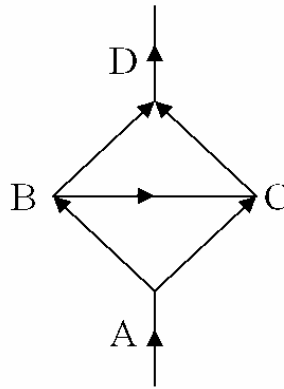


Рис. 5 – Схема діагонального з'єднання

Основною властивістю діагонального з'єднання є те, що рух повітря в гілці-діагоналі не залежить від її аеродинамічного опору. Так, наприклад, повітря буде рухатися з вузла B у вузол C, якщо виконується умова

$$\frac{R_{AB}}{R_{BD}} < \frac{R_{AC}}{R_{CD}}. \quad (30)$$

При рівності цих відносин витрата повітря в діагоналі дорівнює нулю ( $Q_{BC}=0$ ).

Депресія діагонального з'єднання дорівнює сумі депресій виробок, що послідовно примикають друг до друга

$$h = h_{AC} + h_{CD} = h_{AB} + h_{BD} = h_{AB} + h_{BC} + h_{CD}. \quad (31)$$

Загальний опір діагонального з'єднання визначає формула

$$R_0 = h_0 / Q_0^2, \quad (32)$$

де  $Q_0$  – витрата повітря, що проходить через діагональне з'єднання.

Розрахунок повітря в гілках діагонального з'єднання визначається по наближених формулах з використанням рівняння гіперболи.

Складні (комбіновані) вентиляційні з'єднання можуть містити в собі комбінації різних видів вентиляційних з'єднань.

## 5.2 Закони розподілу повітря у вентиляційних мережах

Розподіл повітря в гірничих виробках відбувається відповідно до законів Кирхгоффа. Перший закон мереж, у загальному виді, означає, що сума витрат повітря у вузлі дорівнює нулю

$$\sum_{i=1}^n Q_i = 0. \quad (33)$$

Іншими словами, сума витрат повітря, що надходять у вузол, дорівнює сумі витрат повітря, що виходять із нього.

Другий закон мереж показує, що сума депресій гілок у вентиляційному контурі дорівнює нулю

$$\sum_{j=1}^m h_j = 0. \quad (34)$$

Для підсумовування депресій гілок у вентиляційному контурі, необхідно визначити (прийняти), якийсь напрямок «обходу» контуру. І, якщо, напрямок обходу контуру збігається з напрямком руху повітря в гілці, то величина депресії береться зі знаком «+», а якщо протилежно, то зі знаком «-». Цей закон виконується при відсутності в гілках джерел тяги (енергії).

## 6. ПРИРОДНА ТЯГА

### 6.1 Загальні поняття

Ефект природної тяги проявляється через різницю тисків повітря (аеростатичних тисків) у вертикальних і похилих гірничих виробках. Депресія природної тяги, для схеми на рис. 6, являє собою різницю аеростатичних тисків у пунктах 2 і 3.

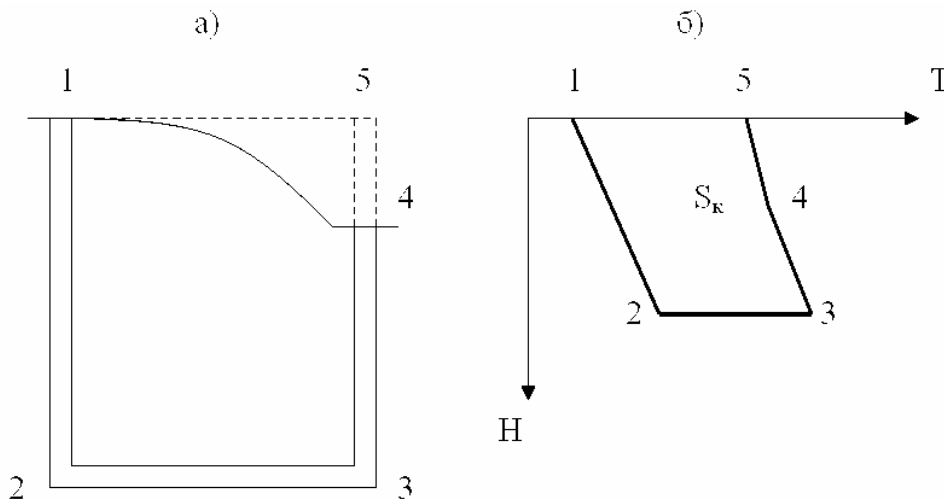


Рис. 6 – Схема гірничих виробок із природною тягою

Різниця тисків у пунктах 2 і 3 виникне, якщо середні показники густини повітря в цих стовпах будуть різними, наприклад  $\rho_1 > \rho_2$ . Тоді

$$h_e = (\rho_1 - \rho_2) H, \quad (35)$$

де  $H$  – вертикальна висота стовпів повітря (1-2 і 5-4-3).

Величина природної тяги може бути визначена термодинамічним методом, запропонованим О.Ф. Воропаєвим. Для цього будується діаграма (рис. 6б) у координатах: геодезична висота (м) – температура (град). Депресія природної тяги визначиться по формулі

$$h_e = \frac{S_k}{T_u} \cdot \rho_{cp}, \quad (36)$$

де  $\rho_{cp}$  – густина об'ємної одиниці повітря;

$S_k$  – площа фігури;

$T_u$  – абсолютна температура в центрі маси фігури.

Підрахунок  $h_e$  для діючих шахт виконується за даними про фактичні температури, виміряні у шахті. При проектуванні шахти, температура на поверхні приймається за даними спостережень для конкретного регіону, а в гірничих виробках, визначається спеціальним розрахунком по відомих закономірностях, характерних для даного регіону.

Для шахт, що ведуть гірничі роботи на декількох горизонтах, характерним є наявність природної тяги на кожному горизонті.

Основна причина зміни густини повітря у вертикальних і похилих виробках шахт, це зміна температури повітря у виробках, із вхідним і вихідним струменем повітря. На шахтах глибиною до 400 м, у теплий час року, вага стовпа повітря в стволах, з вентиляційним струменем, що входить, може бути менше, ніж у стволах із вихідним вентиляційним струменем. У цьому випадку, при роботі вентилятора (-рів) на усмоктування, природна тяга може протидіяти роботі вентилятора – «негативна» природна тяга. У холодний час року, природна тяга, як правило, «позитивна», тобто напрямком її дії збігається з напрямком руху повітря, за рахунок дії вентиляторів. Слід зазначити, що в практиці експлуатації вугільних шахт відомі випадки, коли в окремих гірничих виробках, відбувалося перекидання вентиляційного струменя, через дію природної тяги. Це можливо у вертикальних і похилих гірничих виробках з інтенсивним тепловиділенням (конвеєр, трубопровід стиснутого повітря).

У загальному випадку, можна вважати, що на глибоких шахтах (із стволами глибиною більш 600 м), дія природної тяги, у холодний час року, збільшує кількість повітря, що входить у шахту, а в тепле – зменшує.

Величина природної тяги, на шахтах зі стволами глибиною більш 1000 м, може скласти, у холодний час року, 100-120 даПа і більш.

Схеми вентиляції сучасних шахт містять у собі вертикальні, похилі і горизонтальні виробки. У цих умовах, визначити величину депресії природної тяги виміром, практично неможливо. Це зумовлюється наявністю декількох вентиляційних контурів, у яких вона формується. Дію природної тяги, в окремому вентиляційному контурі, можна розглядати як дію крапкового джерела тяги (умовні вентилятори, із горизонтальною робочою характеристикою, депресія яких еквівалентна величині депресії природної тяги). При працюючому вентиляторі головного провітрювання (ВГП), повітря в шахту буде надходити за рахунок сумарної дії всіх цих умовних вентиляторів і ВГП.

У загальному випадку, для вугільних шахт, можна виділити три основних групи виробок, у яких формується природна тяга. Це стволи, похилі виробки виїмкових полів і виїмкові дільниці. У принципі, можна уявити собі вентиляційну

мережу з трьома послідовно розташованими джерелами тяги (умовними вентиляторами), однак, у реальних умовах, кількість вентиляційних контурів із природною тягою, може складати кілька десятків і виділити вплив кожного з них на провітрювання шахти, практично, неможливо. У зв'язку з вищевикладеним, більшість описаних способів визначення загальної шахтної природної тяги виміром, можна розглядати тільки як навчальні, тобто, ті, що демонструють особливості цього фізичного явища, на прикладі елементарних схем вентиляції.

В умовах реальних шахт, величину природної тяги, в окремих частинах шахти (стволи, похилі виробки, виїмкові дільниці), із достатньою для практичних цілей точністю, можна визначити за допомогою мікроманометра і гумової трубки. Однак, у цьому випадку, гумова трубка повинна бути прокладена у всій підземній частині шахти (для схеми на рис. 6, по маршруту 1-2-3-4). Використання барометрів чи напівемпіричного методу, заснованого на вимірах при працюючому і зупиненому вентиляторі, дає велику похибку.

Для розрахунку природної тяги необхідно знати середні температури повітря, що входить і виходить по стволах. Причому, у верхній частині повітроподавального ствола вона дорівнює температурі на поверхні (чи нижче калорифера), а в інших частинах температуру можна визначити по наближених залежностях.

## 6.2 Вплив природної тяги на провітрювання шахти

На шахтах із глибокими стволами, загальношахтна природна тяга, у плинні року співпадає з роботою вентилятора, хоча частина її, що формується в контурі стволів, зменшується. З практичної точки зору, дію природної тяги в холодний час року, можна розглядати, як своєрідний резерв у забезпеченні шахти повітрям. У той же час, необхідно враховувати, що при низьких температурах повітря на поверхні, для підігріву повітря використовуються калорифери і, в окремих випадках (при сильних морозах), надходження повітря в стволи обмежують, закриваючи ляди в устях стволів з вхідним струменем. Таким чином, у реальних умовах глибоких шахт, значної зміни режиму провітрювання гірничих виробок не відбувається.

Особливої уваги заслуговує вплив природної тяги на провітрювання шахти, у перехідний період: осінь-зима і весна-літо, коли підігріву повітря ще немає чи вже немає. Головна особливість цих періодів полягає у великих перепадах температури повітря на поверхні, у плинні доби (удень повітря може прогрітися до  $+10-15^{\circ}\text{C}$ , а вночі температура падає до  $-5-10^{\circ}\text{C}$ ), і, як наслідок, – в добових змінах величини депресії природної тяги в 2-3 рази. На шахтах із глибокими стволами (більш 600 м), при цьому можливі коливання витрати повітря в гірничих виробках, у межах 10-25 %. На газовій шахті такі коливання режиму провітрювання можуть привести до зміни газового режиму гірничих виробок і виникненню аварійної ситуації.

Вплив природної тяги на режим провітрювання гірничих виробок, шахти в цілому і на режим роботи вентилятора (-рів) оцінюється неоднозначно. Існуюча практика співвіднесення величини депресії природної тяги і депресії вентилятора головного провітрювання, не зовсім коректна. Це виявляється, насамперед, у тім, що вентилятор, як джерело тяги, розташований за межами вентиляційної мережі (зовнішній вентиляційний контур), а природна тяга, що розглядається як деякий набір умовних вентиляторів, «розташована» усередині вентиляційної мережі. Розглянемо це положення на прикладі спрощеної схеми шахти (рис. 7), у якій

природна тяга діє тільки в контурі шахтних стволів (1-2-3-4). Для вентилятора, опір мережі являє собою послідовне з'єднання каналу вентилятора ( $R_{4-6}$ ) та паралельного з'єднання гілок 1-4 (опір шахти  $R_{ш}$ ), і 5-4 (зовнішніх витоків –  $R_{ВУ}$ ). Відносно природної тяги (уявимо собі, що вентилятор головного провітрювання зупинено) вентиляційна мережа має інший опір, тому що складається з послідовно з'єднаних гілок 1-4 і паралельного з'єднання гілок 5-4 і 4-6. Для природної тяги, канал вентилятора і вентилятор є гілками паралельного з'єднання – 4-5(6). Для визначення величини опору цього з'єднання необхідно обчислити опір устя ствола (4-5) і каналу із зупиненим вентилятором (4-6).

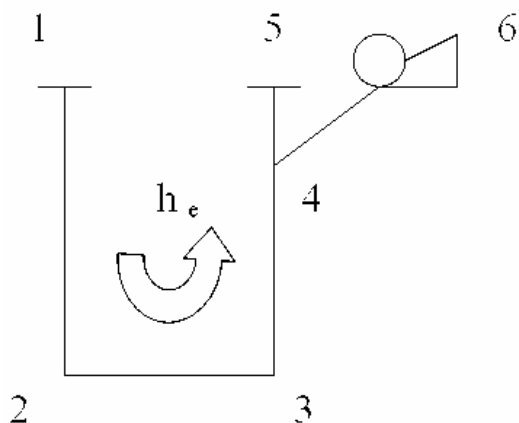


Рис. 7 – Спрощена схема шахти

Для оцінки впливу природної тяги стволів на режим роботи вентилятора, використаємо графічний метод. Припустимо, характеристика вентилятора описується кривою 1-1 (рис. 8). Віднімаючи характеристики каналу ( $R_k$ ) і зовнішніх витоків ( $R_{gy}$ ) з характеристики вентилятора (1-1), а потім, із характеристики паралельного з'єднання (2-2), відповідно, по ординатах і по абсцисах, одержимо характеристику вентилятора, приведену до шахти (3-3). Режим провітрювання шахти визначає точка *a* перетинання аеродинамічної ( $R_{ш}$ ) і приведені характеристики (3-3). Режим роботи ВГП – координати точки *b*.

Дію природної тяги і її вплив на режим провітрювання шахти, визначаємо за допомогою активізованої характеристики мережі (рис. 9). Режим провітрювання шахти, при спільній дії природної тяги (позитивна природна тяга) і ВГП визначають координати точки *a'* ( $H'_{ш}$ ,  $Q'_{ш}$ ). Природна тяга заміщає дію вентилятора в шахті ( $H_{ш} - H'_{ш}$ ) і збільшує витрату повітря ( $Q'_{ш} > Q_{ш}$ ). Вплив природної тяги на режим роботи ВГП, визначають координати точки *b'* на характеристиці вентилятора.

Аналіз дії природної тяги в стволах, показує, що режим провітрювання шахти змінюється в більшій мірі, ніж режим роботи вентилятора головного провітрювання.

$$H_{ш} - H'_{ш} > H_в - H'_в \quad (37)$$

і

$$Q'_{ш} - Q_{ш} > Q'_в - Q_в \quad (38)$$

Це означає, що, по зміні режиму роботи ВГП, не можна судити про величину природної тяги, що діє у стволах і усій вентиляційній мережі. Крім того, можна

вважати, що, у реальних вентиляційних мережах, на режим вентиляції шахти і режим роботи вентилятора здебільше впливає природна тяга, що формується у стволах.

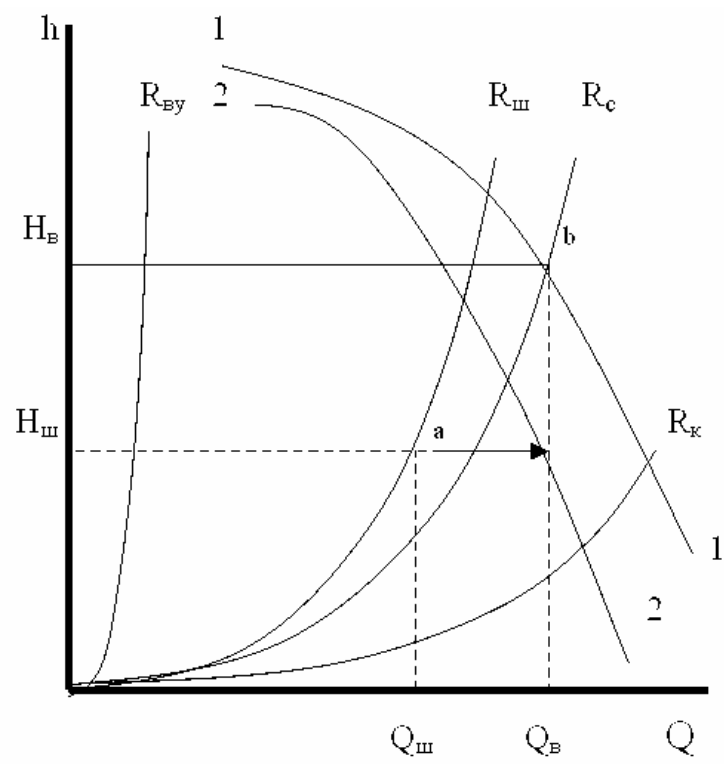


Рис. 8 – Визначення режиму провітрювання шахти

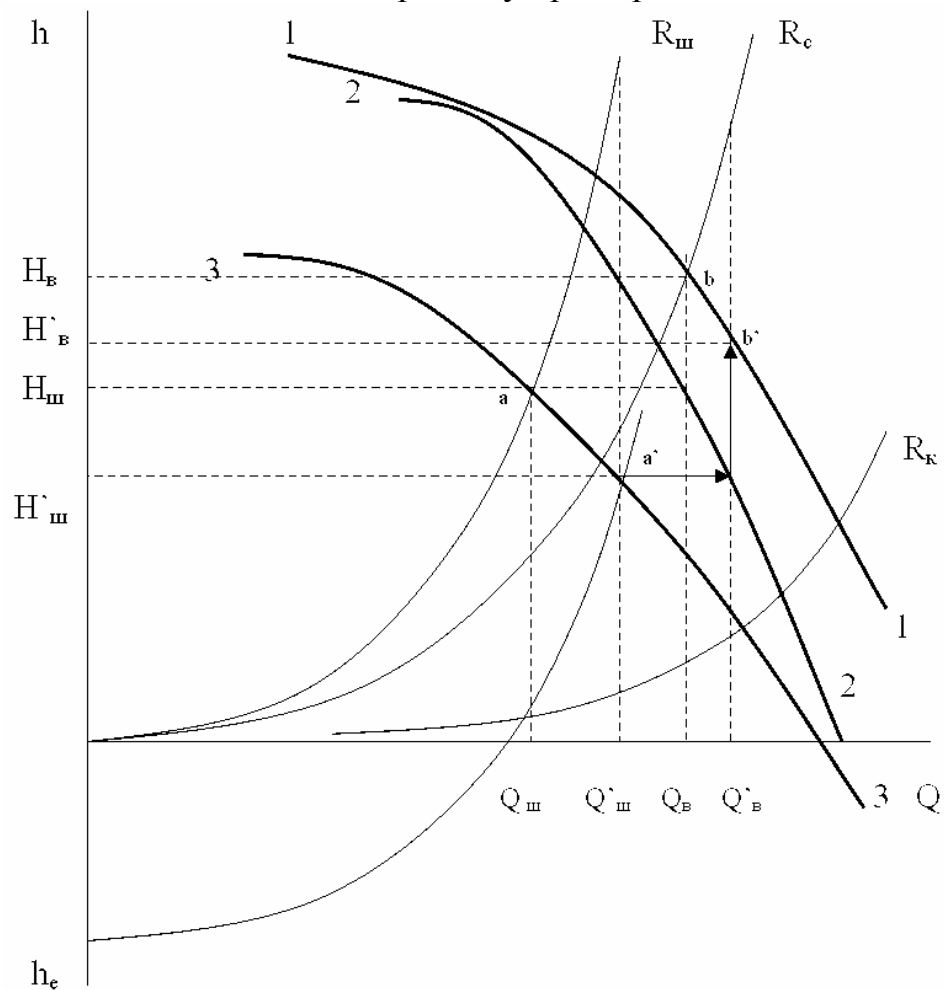


Рис. 9 – Вплив природної тяги на режим роботи ВГП



Вищенаведене дозволяє стверджувати, що, на шахті, з глибокими стволами, при визначенні опору вентиляційної мережі, слід спочатку визначити опір шахтної мережі, а потім – опір всієї мережі, на яку працює вентилятор.

## 7. РОБОТА ВЕНТИЛЯТОРІВ НА ШАХТНУ ВЕНТИЛЯЦІЙНУ МЕРЕЖУ

Вентилятори, що використовуються для провітрювання вугільних шахт, бувають двох типів: осьові і відцентрові. Вони відрізняються, в основному, пристроєм робочого колеса, напрямком руху повітря (у середині вентилятора) і видом робочої характеристики.

### 7.1 Визначення режиму роботи вентилятора

Усі можливі режими роботи вентилятора лежать на його робочій характеристиці, що представляє собою залежність напору (депресії) від подачі. Графік цієї залежності відрізняється для різних типів вентиляторів, але в більшості випадків, з достатньої для інженерних розрахунків точністю, у межах області промислового використання вентилятора, він описується параболою виду

$$h = A - b Q^2, \quad (39)$$

де  $A$  і  $b$  – коефіцієнти, що визначають параметри характеристики вентилятора.

Режим роботи вентилятора на вентиляційну мережу визначають координати точки перетину характеристики вентилятора і характеристики вентиляційної мережі, на яку він працює (якщо природна тяга дорівнює нулю). Так, наприклад (рис. 10), перетинання характеристики вентилятора (1-1) з аеродинамічною характеристикою мережі ( $R_c$ ) у точці  $A$ , визначає величину депресії вентилятора ( $h_e$ ) і його подачу ( $Q_e$ ).

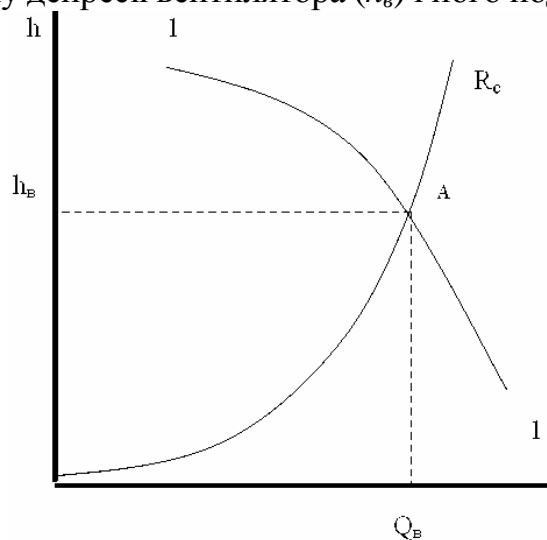


Рис. 10 – Визначення режиму роботи вентилятора

Ці величини можна одержати при спільному рішенні рівняння характеристики вентилятора і мережі ( $h=RQ^2$ ), відносно  $Q$

$$Q = \sqrt{\frac{A}{R+b}},$$

тоді

$$h = \frac{A}{1+b/R}.$$

Область промислового використання вентилятора обмежена для кожної робочої характеристики. Якщо робоча точка вентилятора лежить за межами цієї області, то тут можлива неефективна (неекономічна) робота чи існує небезпека неоднозначності режиму роботи. Неоднозначність, можлива на характеристиках, що мають у верхній частині перегини чи «горби». Це, у першу чергу, властиво осьовим вентиляторам. Під неефективною роботою розуміється, насамперед, робота з низьким КПД.

## 7.2 Спільна робота вентиляторів на загальну мережу

**Послідовна робота вентиляторів.** Оцінка ефективності послідовної роботи вентиляторів на мережу (під ефективністю тут розуміється сумарний ефект спільної роботи вентиляторів – збільшення подачі чи депресії шахти), виконується графо-аналітичним методом, шляхом додавання характеристик вентиляторів по ординатах і побудови загальної характеристики (рис. 11). Точка перетинання ( $A$  або  $A_1$ ) цієї загальної характеристики (3-3) з аеродинамічною характеристикою мережі ( $R_c$  або  $R_{c1}$ ) визначить її режим провітрювання. У той же час, проектуючи ординату цієї точки на характеристики окремих вентиляторів, можна визначити їхні режими роботи ( $H_1$  та  $H_2$ ), при спільній роботі на загальну мережу. Послідовна робота вентиляторів вигідна при великому опорі мережі (точка  $A$ ). При невеликому опорі (точка  $A_1$ ), ця робота може бути неефективною.

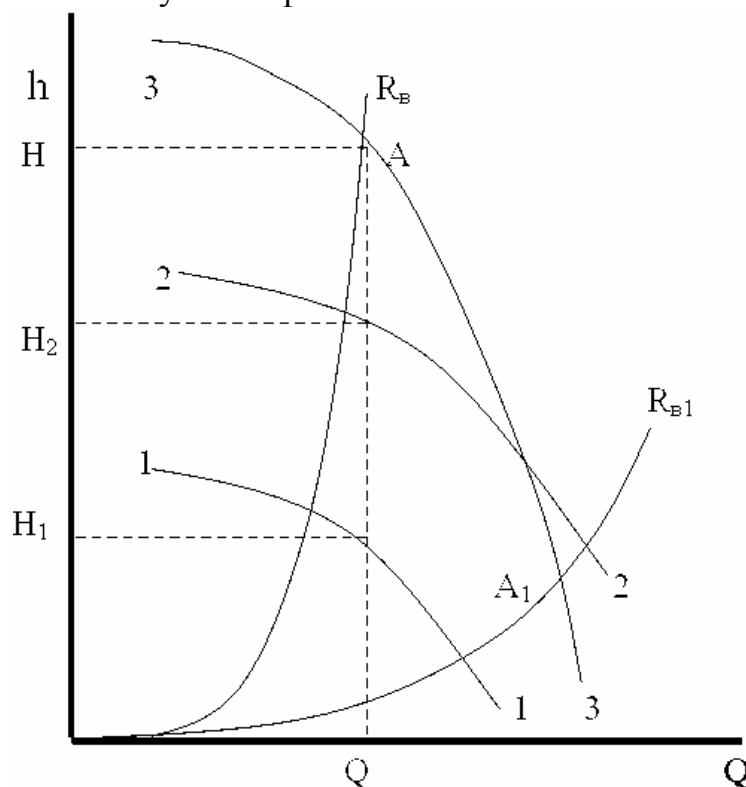


Рис. 11 – Послідовна робота вентиляторів

**Паралельна робота вентиляторів.** При паралельній роботі вентиляторів, їхня сумарна характеристика будується додаванням абсцис усіх точок, що лежать на їхніх робочих характеристиках (рис. 12, криві 1-1 і 2-2). Режим провітрювання мережі визначає точка перетину ( $A$  або  $A^1$ ) сумарної характеристики (3-3) з аеродинамічною характеристикою мережі ( $R_c$  і  $R_c^1$ ). Проектуючи, абсцису такої точки на характеристики окремих вентиляторів (1-1, 2-2), можна визначити їхні

режими роботи ( $Q_1, Q_2$ ). Паралельна робота вентиляторів вигідна на шахтах з невеликим опором мережі (точка  $A$ ), при великому опорі вона неефективна (точка  $A^1$ ).

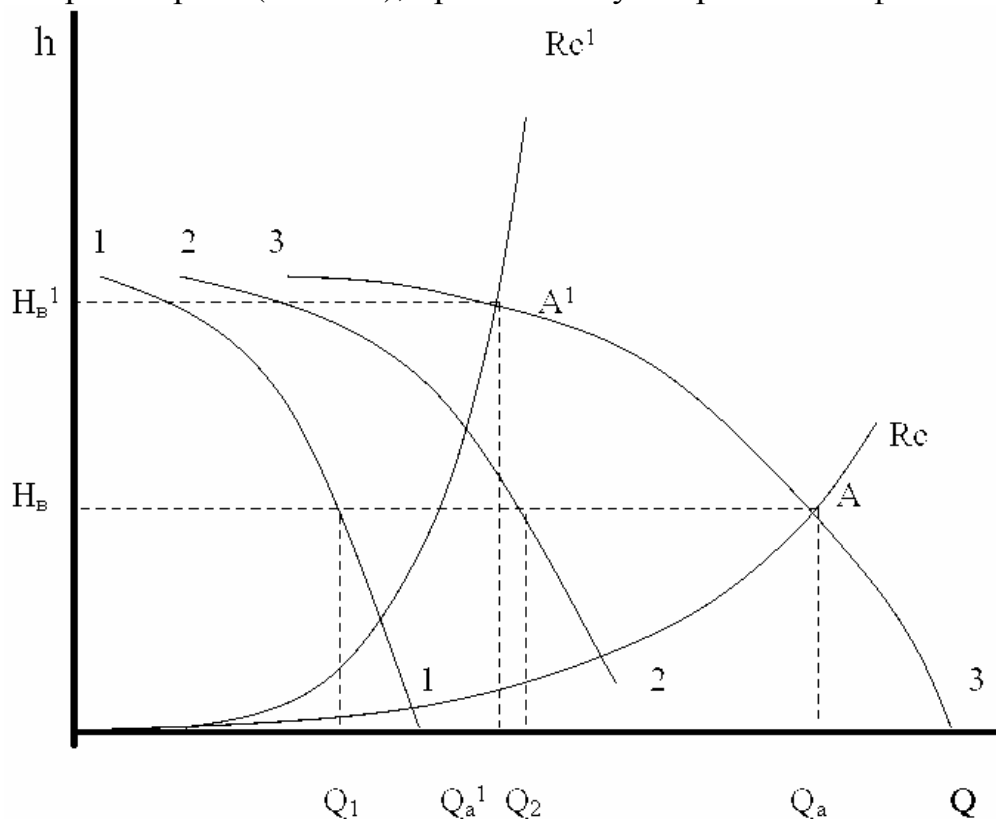


Рис. 12 – Паралельна робота вентиляторів

## 8. РЕГУЛЮВАННЯ ВИТРАТИ ПОВІТРЯ У ГІРНИЧИХ ВИРОБКАХ

### 8.1 Загальні положення

В практиці експлуатації вугільних шахт, питання регулювання повітророзподілення є першорядними. Служби вентиляції займаються цими питаннями практично щодня.

Усі види регулювання можна розділити на дві основні групи:

- зміна режиму роботи джерела тяги (вентилятор, ежектор);
- зміна аеродинамічного опору гірничої виробки.

Перший вид регулювання застосовується досить рідко – один раз у кілька років. Це відбувається у тих випадках, коли, внаслідок розвитку шахти, чи з інших причин, збільшується її аеродинамічний опір (наприклад, довжина гірничих виробок) і зменшується подача повітря в гірничі виробки. У цьому випадку, для збільшення подачі повітря в шахту, збільшується кут установки лопаток вентилятора – вентилятор «переводиться» на вищележачу робочу характеристику.

Другий вид регулювання застосовується постійно, у плінні всього терміну служби шахти. Його можна назвати оперативним регулюванням повітророзподілення. При цьому виділяють «негативне» і «позитивне» регулювання. Під «негативним» розуміють регулювання, зв'язане зі збільшенням аеродинамічного опору гірничих виробок, а «позитивне» – зв'язано з його зменшенням. У практиці шахтної вентиляції, для позначення дій, зв'язаних із збільшенням витрати повітря, іноді використовують термін «посилення» провітрювання.

«Негативне» регулювання застосовують для збільшення витрати повітря в одній виробці (групі виробок, виїмковому полі чи дільниці), за рахунок його скорочення в іншій виробці, чи тільки для зменшення кількості повітря, у якійсь частини шахти. Для цього використовують стаціонарні вентиляційні споруди – вентиляційні двері, «вікна», перемички.

«Позитивне» регулювання здійснюють, зменшуючи опір виробки, забираючи з неї перераховані вище регулятори, чи зменшуючи їхній опір. До «позитивного» регулюванню можна, умовно, віднести і перекріплювання гірничих виробок.

Ці ж види регулювання використовуються і у аварійних умовах (крім перекріплювання), коли, по якихось причинах, необхідно зменшити чи збільшити витрати повітря в якійсь частині шахти.

Практичні задачі регулювання, зв'язані, насамперед, із вибором місця установки регулятора. У деяких випадках може виявитися, що установка регулятора не дасть очікуваного ефекту (у виробці, де встановлений регулятор, витрата повітря зменшиться, а очікуваного збільшення витрати повітря в об'єкті регулювання, не відбудеться). Найчастіше, причиною цього є «далекість» об'єкта регулювання від виробки, у якій встановлений регулятор. У результаті, ефект посилення вентиляційного струменя, як би «гаситься» у вентиляційній мережі. Іншими словами, усі гірничі виробки і відроблені простори, що примикають до них, які розташовані між місцем установки регулятора і об'єктом регулювання, відіграють роль своєрідного демпфера чи буфера. «Збурювання», викликане установкою регулятора, «згасає», по мірі віддалення від виробки, в якій цей регулятор встановлено.

## 8.2 Регулювання повіторозподілення за допомогою вентиляційного вікна

Вентиляційне вікно являє собою, як правило, прямокутний отвір у дверях чи перемичці (рис. 13). Його встановлюють у виробці, де необхідно зменшити витрату повітря.

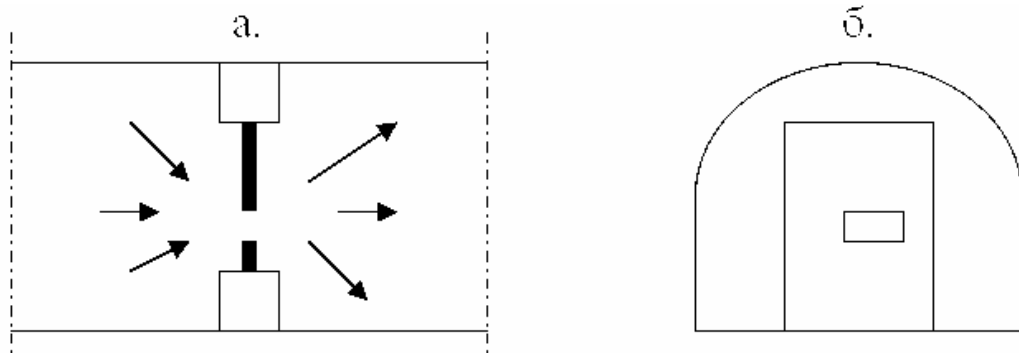


Рис. 13 – Вентиляційне вікно у поздовжньому (а) і поперечному (б) перерізі виробки

Переріз вікна визначається, як правило, заздалегідь, спеціальним розрахунком. Вікно обладнається засувкою, що дозволяє змінювати переріз вікна, а отже, і витрату повітря у виробці.

При  $S_{ок}/S_g < 0,5$  розрахункова формула, для визначення перерізу вікна, має вид

$$S_{ок} = \frac{S_g}{0,65 + 2,63S_g \sqrt{R_{ок}}},$$

а при  $S_{ок}/S_g > 0,5$ :

$$S_{ок} = \frac{S_{г}}{1 + 2,38S_{г}\sqrt{R_{ок}}},$$

де  $S_{ок}$  і  $S_{г}$  – площа перерізу, відповідно, вікна і гірничої виробки, у місці установки вікна;

$R$  – опір вікна.

Опір вікна, що забезпечує необхідний розподіл повітря, можна визначити при моделюванні вентиляційної мережі на ПЕОМ. У деяких випадках, коли виробка призначена для транспортування вантажів, установлюють підряд кілька вікон. Переріз вікна, у виробленні з рейковим транспортом, повинен забезпечувати прохід вагонеток. У цій ситуації, необхідно заздалегідь визначити необхідний сумарний опір усіх вікон, а потім, розрахувавши опір одного, по обраному перерізу, визначити необхідну кількість вікон.

Прогноз ефективності регулювання виконується, з використанням відповідного програмного забезпечення, службою вентиляції шахти чи службою ДВГРС.

*Особливості регулювання повітророзподілення на багатовентиляторних шахтах.* Для провітрювання сучасних вугільних шахт, як правило, використовується кілька вентиляторних установок (дві і більш). У цих умовах виникають деякі особливості провітрювання шахти і регулювання повітророзподілення, зв'язані з взаємовпливом роботи вентиляторів. Насамперед, це зв'язано з тим, що в мережі гірничих виробок формуються своєрідні «зони впливу» вентиляторів. Найчастіше, така зона містить у собі групу виробок, проходячи, по яких, повітря входить тільки до одного з вентиляторів. Ця група виробок може скласти як крило шахтного поля, так і окреме виймальне поле чи дільницю. Так, наприклад, при фланговій схемі провітрювання шахти (рис. 14), поділ шахти на «зони впливу», можливий вже біля виробок ствола.

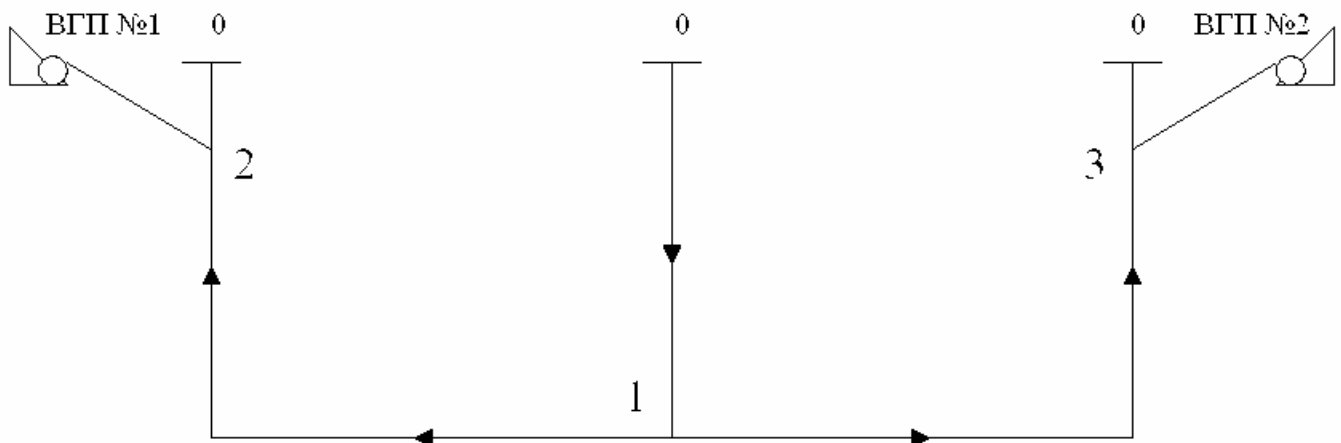


Рис. 14 – Схема провітрювання шахти з двома фланговими вентиляторними установками

У такій схемі вентиляції, скорочення зовнішніх витоків (підсмоктувань) повітря, через устя одного з стволів, з вихідним струменем (наприклад, дільниця 0-2), може привести до зменшення витрати повітря в мережі («зоні впливу») іншого вентилятора (дільниця 1-3). При цьому депресія цього вентилятора (ВГП №2) збільшиться. Таким чином, збільшуючи «вплив» вентилятора №1 на провітрювання шахти (загальна кількість повітря, що входить у шахту по стволу 0-1 збільшиться), за рахунок скорочення витоків повітря у ВГП №1, збільшується опір мережі для вентилятора №2. Депресія цього вентилятора збільшиться, а подача зменшиться. У

той же час, величина витоків повітря через устя ствола, на якому установлений ВГП №2, також збільшиться.

Взаємовплив вентиляторів, а, отже, і величина змін, що відбуваються в їх «зонах впливу» залежить від величини опору загальної ділянки 0-1. З його збільшенням, зменшиться загальна подача повітря в шахту, але збільшиться взаємовплив. Тоді виникає небезпека порушення стійкості провітрювання у виробках, зв'язаних із загальною ділянкою. Це, у першу чергу, відноситься до тих шахт, де стволи для вхідного повітря пройдені в центрі і на фланзі шахтного поля. У цих випадках, у «зону» хитливого провітрювання можуть потрапити усі виробки, розташовані між стволами для вхідного повітря.

## 9. ВЕНТИЛЯЦІЙНІ УСТАНОВКИ І СПОРУДИ

### 9.1 Вентиляційні установки головного провітрювання

У загальному випадку, шахтна вентиляційна установка складається із самого вентилятора (робочий і резервний), каналу вентилятора, дифузора, ляд (шиберів) і устаткування для регулювання положенням ляд (шиберів). У залежності від типу вентилятора, схеми вентиляторних установок можуть бути двох основних видів: з одним і двома обвідними каналами. Так, для осьових вентиляторів схема установки, найчастіше, має вид як на рис. 15. На рис. 16 показаний спрощений профіль цієї ж вентиляторної установки.

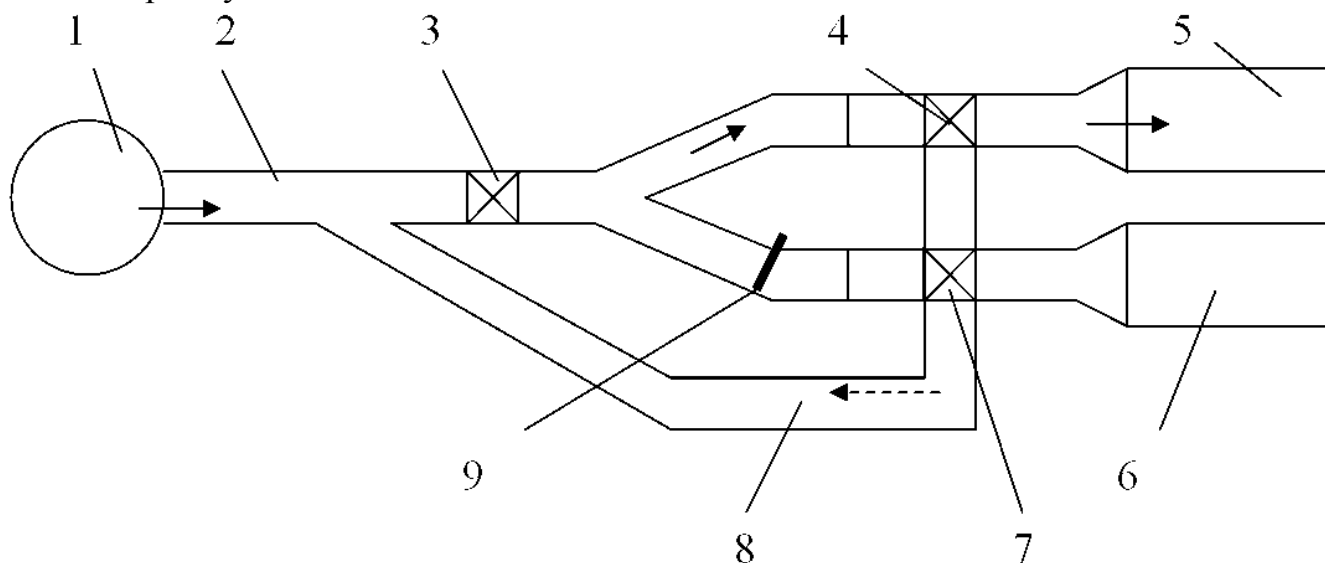


Рис. 15 – Схема каналів вентиляторної установки:

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

Два обвідних канали, як правило, присутні в установках із відцентровими вентиляторами (рис. 17). Тут, для кожного вентилятора улаштовується свій обвідний канал.

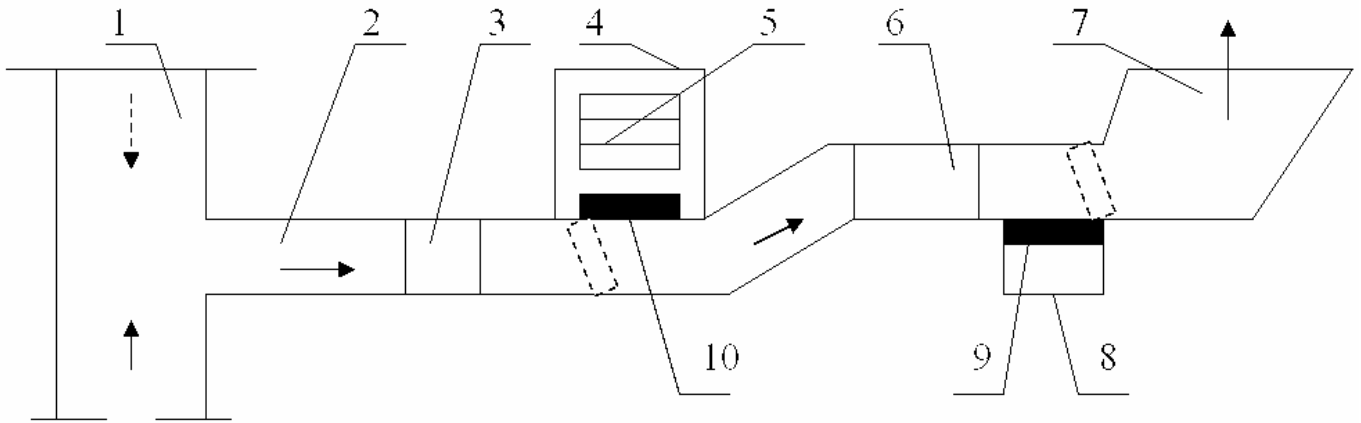


Рис. 16 – Спрощена схема вентиляторної установки

1 – устя ствола; 2 – основний канал; 3 – сполучення основного каналу з обвідним; 4 – повітрязабірна будка; 5 – вікна з жалюзі; 6 – вентилятор; 7 – дифузор вентиляторної установки; 8 – обвідний канал; 9 – ляда обвідного каналу; 10 – ляда повітрязабірної будки

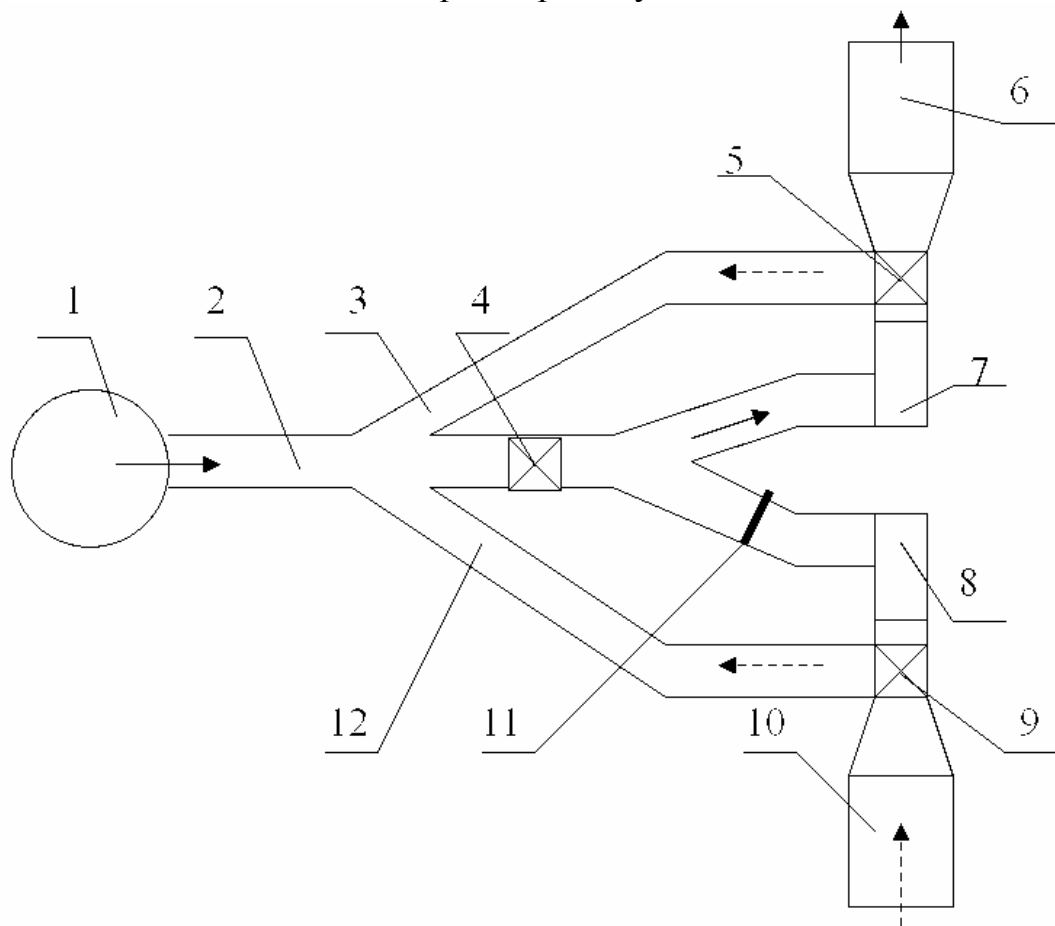


Рис. 17 – Схема вентиляторної установки з відцентровими вентиляторами

1 – ствол; 2 – канал вентилятора; 3, 12 – обвідні канали робочого та резервного вентиляторів; 4 – ляда повітрязабірної будки; 5, 9 – ляди обвідних каналів; 6, 10 – дифузори робочого та резервного вентиляторів; 7, 8 – робочий і резервний вентилятори; 11 – шибер

## 9.2 Вентиляційні споруди

Усі вентиляційні споруди шахти можна, умовно, розділити на дві групи: для пропуску вентиляційного струменя і для поділу вентиляційних струменів. До

першої групи відносяться вентиляційні канали і кросинги («повітряні» мости), друга – містить у собі перемички, ляди, вентиляційні двері і шлюзи.

По вентиляційних каналах повітря підводиться від стволів до вентиляторів головного провітрювання чи навпаки – від вентиляторів до стволів. Вони повинні бути герметичними і мати невеликий аеродинамічний опір. Герметичність забезпечує мінімальні підсмоктування (витоки) повітря з поверхні, а зменшення опору каналів знижує величину депресії вентилятора, необхідну для забезпечення нормального (аварійного) режиму провітрювання гірничих виробок. Кросингом (рис. 18) називають вентиляційну споруду для «перекидання» одного струменя повітря (1), через інший (2), у місцях їхнього перетинання. По обидва боки кросинга влаштовують шлюзи (3), кожний з яких обладнаний двома парами нормальних і реверсивних дверей. Реверсивні двері перешкоджають «закорочуванню» повітря, при зміні напрямку руху повітря в гірничих виробках. Термін «закорочування» означає, як правило, рух повітря з виробки, по якій йде свіжий струмінь, у виробку з вихідним струменем, по найкоротшому шляху. У цьому випадку, основна частина повітря, не надходить до об'єкта провітрювання, а йде «накоротко» у виробку з вихідним струменем.

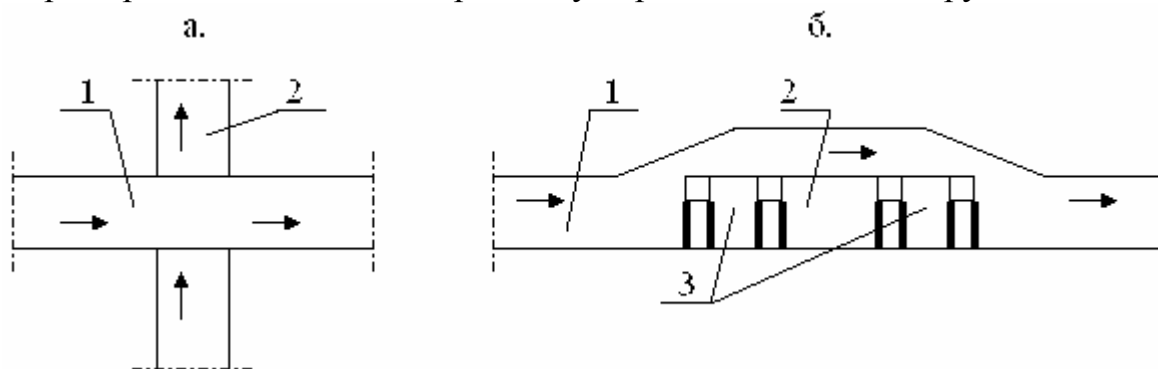


Рис. 18 – Спрощена схема руху повітря по кросингу  
а – схема перетинання виробок; б – схема кросинга

У нормальних умовах роботи шахти. «закорочування» розглядається, як неприпустиме явище, тому, що на газовій шахті це може призвести до загазування виробок. В аварійних умовах «закорочування» може заздалегідь передбачатися в плані ліквідації аварій і вважається аварійним режимом провітрювання.

Перемички служать для припинення руху повітря по гірничих виробках. Перемички зводять з різних матеріалів – дерево, цегла, бетоніт, бетон, гіпс, у залежності від вимог герметичності, місця установки і призначення. У тих випадках, коли потрібна перемичка з підвищеною герметичністю, її встановлюють, попередньо розібравши кріплення виробки і зробивши круговий вруб. Перемички з бетону чи гіпсу зводять за допомогою опалубки.

Для проходу людей чи транспортування вантажів у перемичках роблять вентиляційні двері. Кожна перемичка обладнується двома видами дверей – нормальними та реверсивними. Дві перемички з дверима утворюють шлюз. У деяких випадках, при великих перепадах тиску, для полегшення відкривання дверей, в ній обладнують розвантажувальне вікно. Якщо двері використовуються як регулятор повітроділення, то в них може бути передбачений спеціальний отвір – вікно, величина якого визначається спеціальним розрахунком. У деяких випадках, у виробках, з інтенсивним переміщенням вантажів, встановлюють автоматичні двері, що відкриваються і закриваються за допомогою спеціальних механізмів.



Пожежні двері встановлюють, як правило, на початку або в кінці виробки. Їхнє призначення – попередити поширення пожежі по виробці чи попередити потрапляння у виробки палаючих предметів. Стулки і рама цих дверей виготовляються з металу. Пожежні двері встановлюють у стволах, біля стволів, у камерах і похилих виробках. У виробках, обладнаних рейковим чи конвеєрним транспортом, в пожежних дверях передбачають спеціальні прорізи чи вікна, що повинні закриватися гумовими фартухами, для зменшення витоків повітря через двері. В аварійних умовах пожежні двері можуть використовуватися як регулятори витрати повітря.

У деяких випадках, для поділу вентиляційних струменів, використовують, так звані, ляди. Вони можуть бути як металевими, так і дерев'яними, одно- чи двостулковими. Наприклад, металеві ляди в вентиляційних установках, розділяють усмоктувальну і нагнітальну частини цих установок і використовуються для реверсування вентиляційного струменя в шахті (рис. 15-17).

## 10. ВИТОКИ ПОВІТРЯ

### 10.1 Загальні положення

Однієї з особливостей провітрювання підземних виробок є наявність втрат повітря, по шляху його руху від усть повітропостачаючих стволів до основних об'єктів провітрювання шахти – очисних і підготовчих вибоїв. Витоки (підсмоктування) повітря відбуваються через відроблені простори, що виникають після виїмки корисної копалини, побутові смуги, цілики, вентиляційні споруди, ущільнюючі пристрої. Витоки повітря, найчастіше, впливають на вентиляцію окремих виробок, виїмкових полів і шахти в цілому. Для їхньої компенсації необхідно збільшувати подачу повітря в шахту. Просочування повітря через цілики корисної копалини і відроблені простори, із залишками корисної копалини, може призвести до виникнення ендогенної пожежі.

Усі витоки повітря можна розділити на дві основні групи: поверхневі (зовнішні) і підземні (внутрішні). Поверхневі витоки (підсмоктування) повітря – це витоки через нещільності надшахтних споруд, вентиляційних каналів, ляди вентиляційних установок, через перекриття і перемички в устях стволів, шурфів та ін. Сумарна величина поверхневих витоків (підсмоктувань) повітря визначається як різниця між подачею вентилятора (вентиляторів) головного провітрювання, встановленого на поверхні, і витратою повітря, що надходить у шахту.

Підземні (внутрішні) витоки повітря – це витоки через вентиляційні споруди, погашені виробки, відроблені простори, порушені цілики. Їх можна розділити на місцеві і розподілені. До місцевих витоків відносяться витоки через вентиляційні споруди і окремі погашені (що погашаються) виробки, що зв'язували між собою виробки, які ще експлуатуються. До розподілених витоків відносяться витоки через відроблені простори. Ці витоки розподілені по довжині виробки, що примикає до виробленого простору чи порушеним ціликам.

### 10.2 Витоки повітря через вентиляційні споруди

Величина витоків повітря через вентиляційні споруди, призначені для поділу потоків, що, надходять і виходять, залежить від перепаду тиску, через ці споруди, і

якості їх виготовлення. У загальному випадку, аеродинамічний опір ( $R_{ym}$ ) шляху витоку (вентиляційної споруди) визначається по відомому закону опору для турбулентного режиму руху повітря

$$R_{ym} = h_{ym}/Q_{ym}^2.$$

Місця витоків повітря залежать від виду вентиляційної споруди. У глухих перемичках – це місця контакту «тіла» перемички з навколишніми породами (по периметрі перерізу виробки). Максимальні витoki повітря спостерігаються через дерев'яні перемички, мінімальні – через бетонні, гіпсові. За інших рівних умов, величина витоків буде збільшуватися зі збільшенням периметра перемички і зменшенням її товщини.

При проектуванні шахти, величина витоків повітря через перемички і вентиляційні споруди нормується, а аеродинамічний опір визначається, у залежності від коефіцієнта повітропроникності і площі перемички (периметра), з урахуванням стану бічних порід, у місці установки перемички. Розрахунки проводяться з використанням різних емпіричних залежностей. При визначенні опору вентиляційних дверей враховується, також, площа вентиляційних дверей, а для шлюзу – кількість дверей. Величина нормативних витоків повітря, через глухі перемички і вентиляційні шлюзи, знаходиться в межах, відповідно, 7-42 і 19-82 м<sup>3</sup>/хв.

Контроль внутрішніх витоків повітря, через вентиляційні споруди, має свої особливості. Так, якщо величина витоку повітря досить велика, тобто може бути обмірювана шахтним анемометром, то, у залежності від умов конкретної виробки, місце виміру повітря повинне відповідати спеціальним вимогам. Бажано, що б воно було на відстані 5-12 b (b – ширина виробки) від вентиляційної споруди і найближчого сполучення з іншими виробками. При вимірі швидкості повітря перед перемичкою (по ходу повітряного потоку), воно повинне бути віддалене від неї на відстань не менш 5b, а за перемичкою – не ближче 12b.

Якщо неможливо зробити вимір швидкості повітря, у самій виробці, із вентиляційною спорудою, то, величину витоку визначають за різницею витрат повітря, які вимірюють в інших виробках, зв'язаних із об'єктом, що нас цікавить.

При невеликих величинах витоків повітря, для їхнього виміру, із достатньою для практичних цілей точністю, можна використовувати спеціальну, легку (переносну) перемичку. Вимір швидкості повітря, у цьому випадку, роблять у спеціальному «вікні», розташованому в центрі перемички, а витрату повітря у виробці, визначають по формулі

$$Q_{ym} = V S_{ок},$$

де  $V$  – швидкість повітря, обмірювана у вікні, м/с;

$S_{ок}$  – площа вікна в перемичці, м<sup>2</sup>.

### 10.3 Витoki повітря через відроблені простори

Виток повітря через вироблений простір із відкаточного (конвеєрного) штреку на вентиляційний, відносять до розподілених (розосереджених) витоків (у випадку примикання штреків до виробленого простору). Їхня величина може скласти 30 % і більше від витрати повітря, що надходить у початок відкаточного штреку. Вплив цих витоків повітря на зміст метану в лаві і вентиляційному штреку залежить від схеми відпрацьовування і провітрювання виїмкової ділянки. Величина витоків залежить від перепаду тиску між відкаточним і вентиляційним штреком, схеми

провітрювання виїмкової ділянки, аеродинамічного опору виробленого простору. Останнє, у свою чергу, залежить від фізико-механічних властивостей порід, що вміщують, потужності пласта, довжини лави, кута падіння пласта і способу керування покрівлею. Максимальні витрати повітря, як правило, спостерігаються на відстані до 50 м від вибою лави. В міру віддалення від лави витрати зменшуються і, на відстані 500-600 м, стають рівними нулю. Дослідження показують, що, починаючи з відстані 50 м від лави, режим руху повітря на шляхах витоків, близький до ламінарного.

У практиці моделювання шахтних вентиляційних мереж, як правило, особливості розподілу витоків повітря через вироблений простір не враховують. У деяких випадках, шлях витоків повітря через вироблений простір, моделюють однією гілкою, яка паралельна лаві. Опір цієї гілки підбирають так, щоб його величина відповідала співвідношенню витрати повітря в лаві і на шляхах витоків. Загальна величина витоків, у межах виїмкової ділянки, визначається як різниця витрат повітря на початку відкаточного штреку і у 15-20 м від вікна лави (суцільна система розробки).

## 11. ПИЛОВИЙ РЕЖИМ ШАХТ

### 11.1 Загальні положення

Шахтний пил це сукупність тонкодисперсних твердих часток органічного чи мінерального походження. У гірничих виробках пил присутній в повітрі в зваженому стані, чи осідає на поверхні виробок. Здатність пилу знаходитись в зваженому стані залежить від його дисперсності (розмірів часток), питомої ваги, а також від вологості, температури і швидкості руху повітря. У гірничій справі пил розглядається, як професійна шкідливість і як причина вибухів.

Наявність пилу в повітрі викликає роздратування очей, дихальних шляхів і легенів. Його вдихання викликає різні легеневі захворювання, відомі під загальною назвою «пневмоконіоз» (греч. пневма – подих, коніс – пил). Важка форма пневмоконіозу – *силікоз*, викликається кремнієвим пилом і супроводжується ущільненням легеневої тканини. Легеневе захворювання *антракоз* (греч. антракон – вугілля) викликається вугільним пилом. Головні джерела пилу в шахті: місця, де відбувається буровлення, виїмка породи чи корисної копалини, навантаження і транспортування породи і корисної копалини. Гранично припустимі концентрації (ПДК) пилу вугільних шахт приведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Припустимі концентрації пилу

Якісна характеристика пилу	Зміст вільного двоокису кремнію в пилу, %	ПДК, мг/м <sup>3</sup> , по загальній масі
Породна, вуглепородна	Від 10 до 70	2
Вуглепородна, вугільна	Від 5 до 10	4
Антрацитова	До 5	6
Пил кам'яного вугілля	До 5	10

## 11.2 Пальні і вибухові властивості пилу

Для запалення пилу необхідні дві умови: достатня кількість кисню і джерело запалення, з необхідною температурою. Температура запалення метано-повітряної суміші і вугільного пилу дорівнює відповідно 650-750 і 700-800 °С. Особливості виникнення і протікання вибуху:

- пил може вибухати при відсутності метану;
- вибух метану може ініціювати вибух пилу (переводить осілий пил у зважений стан);
- наявність у повітрі тонкого і сухого вугільного пилу знижує нижню межу вибуховості метано-повітряної суміші (вибух можливий при зміні метану < 5 %);
- продукти вибуху суміші з вугільним пилом завжди містять велику кількість окису вуглецю;
- можливість вибуху пилу залежить від ступеня її дисперсності, змісту вологи у вугіллі та виробці, зольності, виходу летучих речовин, обсягу простору в якому формується пилова хмара і ініціюється вибух, температури джерела запалення;
- тертя часток пилу в хмарі може викликати електричний розряд, що запалить пил.

## 11.3 Фактори, що впливають на вибуховість вугільного пилу

*Наявність летучих речовин.* Основні компоненти летучих речовин, що обумовлюють вибуховість вугільного пилу – смолисті речовини, водень, етан і неграничні вуглеводні. Ступінь вибуховості характеризується тиском у місці вибуху. Зі збільшенням виходу летучих речовин тиск у місці вибуху зростає. Розрізняють слабовибуховий вугільний пил (зміст летучих речовин  $\leq 15\%$ ) і сильноввибуховий (зміст летучих речовин  $> 15\%$ ).

*Дисперсність пилу.* Ступінь вибуховості пилу зростає зі збільшенням ступеня її здрибнювання. В окремих випадках, сила вибуху досягає максимуму при діаметрі часток  $< 10$  мкм. У шахті, вибухонебезпечність пилу збільшується, у міру віддалення від джерела пилоутворювання. Швидкість поширення полум'я, у пиловій хмарі, зростає зі зменшенням розмірів часток пилу, а температура запалення – знижується.

*Склад шахтного повітря.* Наявність метану, знижує нижній поріг вибуховості пилу. Так, якщо нижня межа вибуховості сильноввибухового пилу дорівнює 11-15 г/м<sup>3</sup>, то, при зміні метану 2,5 %, він зменшується до 3-5 г/м<sup>3</sup>. Для слабовибухового пилу (вихід летучих 10-15 %) нижня межа дорівнює 50 г/м<sup>3</sup>, верхня межа – 300-400 г/м<sup>3</sup>.

*Вологість пилу.* Волога діє як інертна добавка. Вода поглинає тепла в 5 разів більше ніж інертний пил, але суспензія пилу, при наявності потужного джерела тепла, може вибухнути при будь-якій вологості. Тому, захисна дія вологи, в основному, виявляється в зв'язуванні осілої пилу.

*Інертні добавки.* Пилова хмара, разом з вугільними частками, може містити непальні частки мінерального походження (зола, сланець). Частина тепла, при вибуху, витрачається на їхнє нагрівання, що знижує температуру полум'я. Крім того, непальні частки екранують теплопередачу і, тим самим, знижують тепловий баланс. Вплив інертних добавок на вибуховість пилу, в основному, проявляється при виході

летучих речовин < 15 %. При виході летучих більш 30 %, інертні добавки не впливають на вибуховість вугільного пилу.

#### 11.4 Особливості вибуху вугільного пилу в шахті

У залежності від швидкості поширення полум'я розрізняють:

- спокійне згоряння пилу (запалення), при недостатній концентрації кисню в суміші;
- спалах (тиск становить менше  $15 \cdot 10^{-3}$  МПа, а швидкість горіння 4-10 м/с);
- вибух (тиск становить  $15 \cdot 10^{-3}$ -1 МПа, а швидкість горіння 10-330 м/с);
- детонацію (тиск становить 2-5 МПа, а швидкість поширення полум'я 500-8000 м/с).

У шахті немає умов для виникнення детонації (вона вимагає низького опору, відсутності поворотів, звужень, розширень, перепон, а також збереження високої температури у фронті полум'я для метано-повітряної суміші, наприклад, не нижче  $1300^\circ \text{C}$ , що можливо при малій тепловіддачі із фронту горіння). При вибуху вугільного пилу перед полум'ям зі швидкістю звуку (330 м/с) рухається хвиля стиску. Ударна хвиля піднімає осілий пил і створює по всій виробці, між фронтом полум'я і тиску, вибухову пило-повітряну суміш, у якій і поширюється полум'я. Швидкість поширення вибуху зменшується при наявності місцевих опорів – звужень, поворотів, тупиків.

При вибуху, тепло від палаючих часток не встигає виділятися в навколишнє середовище. Це викликає прискорення реакції і лавиноподібний процес горіння. Тому, устигають згоріти тільки тонкодисперсні частки пилу, а решта піддається коксуванню. На устаткуванні і поверхнях виробки утворюються характерні агломерати ооксованого пилу. Там, де полум'я поширювалося повільно – агломерати виявляються по обидва боки виступаючих елементів кріплення, при великій швидкості полум'я – в основному, на навітряній стороні, при дуже великій швидкості поширення полум'я – на підвітряній стороні.

При вибуху буває два види удару повітряної хвилі: прямий (від розширення повітря) і зворотний (від стиску продуктів вибуху при зниженні їхньої температури).

#### 11.5 Попередження вибухів вугільного пилу

Комплекс мір, що попереджає виникнення вибухів і перешкоджає їхньому розвитку, містить у собі три основні групи заходів.

*Профілактика утворення пилу і пилової хмари:*

- використання машин і механізмів, що забезпечують мінімальне пилоутворювання в процесі видобутку вугілля;
- попереднє зволоження шарів вугілля;
- зрошення місць пилоутворювання і осілого пилу;
- ефективна вентиляція гірничих виробок;
- очищення від пилу транспортних і вентиляційних виробок;
- устаткування скіпових підйомів у стволах з вихідним вентиляційним струменем;
- розташування збагачувальних фабрик, з урахуванням місця закладення повітропостачаючих стволів шахти.

*Профілактика виникнення джерел запалення пилу:*

- застосування запобіжних ВВ, іскробезпечних засобів висадження, вибухобезпечного електроустаткування і шахтних світильників;
- заборона використання відкритого вогню в шахті і паління.

Заходи, що забезпечують локалізацію чи придушення вибухів, містять у собі осланцювання виробок і установку сланцевих чи водяних заслонів.

Осланцювання виробок – штучне підвищення зольності пилу, що відклався, за рахунок додавання в неї стандартного інертного пилу. Для осланцювання гірничих виробок, в основному, використовується пил з вапняку і глинистого сланцю. Він не повинен злежуватися і поглинати вологу.

При сланцевому вибухозахисті повинні проводитися побілка і осланцювання виробок, установка сланцевих заслонів.

Сланцевий заслін являє собою ряд полиць, що розташовуються поперек виробки, у її покрівлі. На полках розміщується інертний пил. Його кількість в одному заслоні, за Правилами безпеки, визначається з розрахунку 400 кг на 1 м<sup>2</sup> площі поперечного перерізу виробки, у місці установки заслону.

У водяних заслонах, замість пилу, на полки встановлюють судини з водою.

Сланцевими чи водяними заслонами захищають:

- очисні виробки;
- вибої підготовчих виробок (при наявності вугільного пласта);
- крила шахтного поля на кожному шарі;
- конвеєрні виробки;
- пожежні дільниці;
- склади вибухових матеріалів.

Сланцеві та водяні заслони тільки локалізують вибух, а не попереджають його. Заслони встановлюють на вхідному і вихідному струменях дільниці, що захищається. Заслони встановлюють у горизонтальних і похилих виробках з кутом нахилу до 18°. Загальна довжина заслону не повинна бути менше 30 м для водяних заслонів, та 20 м для сланцевих.

Сланцеві заслони повинні встановлюватися на відстані не менш 60 м і не більш 300 м, водяні заслони – не менш 75 м і не більш 250 м від вибоїв очисних і підготовчих виробок, сполучень дільничних виробок з іншими виробками, а також від ізолюючих пожежу перемичок. Місця установки заслонів повинні наноситись на плани гірничих виробок, прикладені до плану ліквідації аварій.

## **12. ПРОВІТРЮВАННЯ ВІЙМКОВИХ ДІЛЬНИЦЬ**

Поняття виїмкової дільниці, із погляду вентиляції шахти, означає визначену систему гірничих виробок, що включає очисний вибій (лава), відкаточні (конвеєрні) і вентиляційні виробки і вироблений простір. Очисні вибої є основними об'єктами провітрювання шахти і, саме в них, найбільше інтенсивно відбуваються процеси газопиловиділення.

При виборі схеми провітрювання виїмкових дільниць першорядне значення мають питання безпеки і забезпечення високих навантажень на очисні вибої.

Схема провітрювання виїмкової дільниці повинна забезпечувати:

- стійке провітрювання, як при нормальних технологічних процесах, так і у випадку виникнення аварії;
- сприяти ліквідації аварії і порятунку гірників;
- на глибоких шахтах, де діє ряд несприятливих факторів – зниження їхнього впливу на робітників;
- максимальне навантаження на очисний вибій;
- неможливість утворення шарових і місцевих скупчень метану;
- подачу свіжого струменя до очисного вибою по двох виробках при відпрацьовуванні викидонебезпечних шарів.

Класифікація схем провітрювання містить у собі п'ять ознак.

Перша ознака – тип. Він визначає ступінь розбавлення шкідливостей по джерелах надходження. Їх усього три:

1 тип – послідовне розведення. Свіжий струмінь надходить по конвеєрному (відкаточному) штреку, розбавляє метан, що виділяється при транспортуванні вугілля, потім надходить в очисної вибій, розбавляючи метан з відбитого вугілля, пластових оголень і частково метан, що виділяється в призабійний простір із закріпної області; вийшовши на вентиляційний штрек струмінь повітря розбавляє метан, що виділяється у виробленому просторі і виноситься на штрек витоками повітря, крім того розбавляються гази, що утворюються в результаті гниття деревини, роботи машин і механізмів і т.п.;

2 тип – часткове розведення. Свіжий струмінь надходить по конвеєрному (відкаточному) штреку, розбавляє метан, що виділяється при транспортуванні вугілля, потім надходить в очисної вибій, розбавляючи метан з відбитого вугілля, пластових оголень і частково метан, що виділяється в привибійний простір із закріпного, а далі надходить у загальний вихідний струмінь дільниці, не беручи участь у розведенні шкідливостей, що виділяються на іншому штреку;

3 тип – повне розведення. Свіжий струмінь надходить у очисний вибій, не приймаючи участі в розведенні шкідливостей, а після того, як він омив очисний вибій, іде в загальний вихідний струмінь крила, не беручи участь у розведенні шкідливостей, що виділяються із інших джерел.

Друга ознака – підтип. Він визначає напрямок видачі вихідного струменя з очисного вибою. Їх усього три:

В – випуск вихідного струменя на вироблений простір;

М – випуск вихідного струменя на масив вугілля;

К – комбінований випуск вихідного струменя, коли на виході з очисного вибою струмінь розділяється: частина йде на масив, а частина – на вироблений простір. Досить ефективно при високій метановості виїмкової дільниці, коли частина метану відводиться по виробках, що не підтримуються і потім каптується засобами дегазації. Однак варто звертати особливу увагу на ефективність роботи засобів дегазації і безпеку скупчень метану на сполученні штреку і очисного вибою.

Третя ознака – клас. Він визначає залежне або незалежне провітрювання очисних виробітків. Їх усього два:

Н – незалежне, тобто вентиляційний струмінь, надійшовши в очисної вибій, обмивши його, відводиться в загальний вихідний струмінь крила шахти, минаючи інші об'єкти провітрювання.

З – залежно, це провітрювання так званих спарених лав.

Четверта ознака – підклас. Він визначає напрямок руху вентиляційного струменя в очисному вибої. Їх усього три:

в – висхідний рух вентиляційного струменя по очисному вибою;

н – нисхідний рух вентиляційного струменя по очисному вибою;

г – горизонтальний рух вентиляційного струменя по очисному вибою.

П'ята ознака – вид. Він визначає взаємний напрямок руху свіжого і вихідного струменя в межах виїмкової дільниці. Їх усього два:

вт – зворотнострумінне провітрювання, коли свіжий і вихідний струмені спрямовані в протилежні сторони;

пт – прямострумінне провітрювання, коли свіжий і вихідний струмені спрямовані однаково.

Різні варіанти схем провітрювання представлені на рис. 19. Загальна кількість варіантів схем, що враховують конкретні гірничотехнічні умови вугільного басейну, шахти чи окремого вугільного пласта, складає близько 50. Особливості їхнього застосування розглядаються в «Посібнику з проектування вентиляції вугільних шахт».

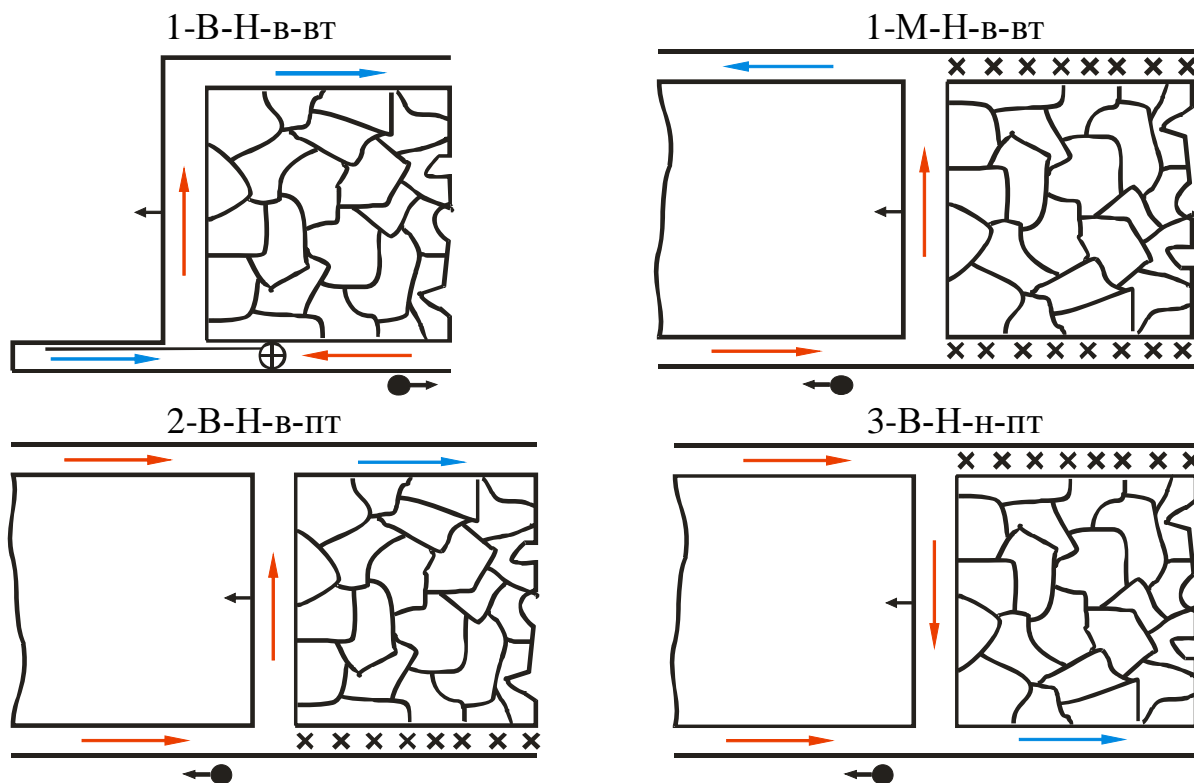


Рис. 19 – Варіанти схем провітрювання виїмкових дільниць

З точки зору моделювання схем вентиляції виїмкових дільниць на ПЕОМ, необхідно відзначити, що, незалежно від схеми, кожна з виробок, що входять у виїмкову дільницю, повинна моделюватися окремою гілкою. Методика моделювання шляхів витоків повітря, у межах виїмкових дільниць, приймається, у залежності від задач, розв'язуваних у ході моделювання і вірогідності інформації, що дозволяє структурувати шляхи втрат. У загальному випадку, при рішенні задач стійкості вентиляційних струменів, у лавах із спадним і висхідним провітрюванням, виток повітря через вироблений простір, що примикає до лави (дільниця довжиною 30-50 м), можна представити в моделі, у виді окремої гілки. Ця гілка є еквівалентом



усіх витоків повітря через вироблений простір, що примикає до лави впродовж 30-50 м. Приклади таких моделей, для схем типу 1-В-Н, наведені на рис. 20. Аеродинамічний опір гілки, що моделює виток повітря через вироблений простір ( $Q_y$ ), що примикає до лави, визначається за законом опору

$$R_{y.l} = h_l / Q_y^2,$$

де  $h_l$  – депресія лави.

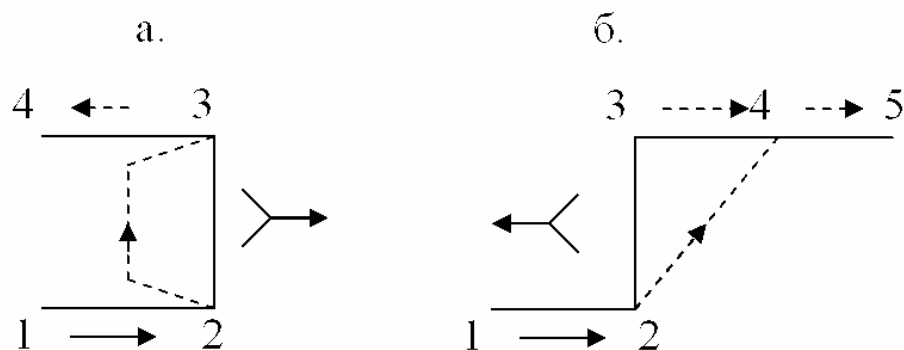


Рис. 20 – Схеми моделювання виїмкових дільниць типу 1-В-Н

Більш складні методики моделювання вироблених просторів використовуються в ході спеціальних досліджень. У цих випадках, найчастіше, використовується, так звана, «сіткова» модель, коли весь вироблений простір, розбитий на осередки, а кожна сторона такого осередку, являє собою окрему гілку вентиляційної мережі.

### 13. ПРОВІТРЮВАННЯ ПІДГОТОВЧИХ ВИРОБОК

#### 13.1 Загальні зведення

Термін «підготовчі виробки» означає, у першу чергу, що це виробки, що знаходяться в стадії проходки і, що вони проходяться для підготовки до відпрацювання частини виїмкового поля чи шахти (крило, уклонне поле, виїмкова дільниця). Тупикова частина підготовчої виробки, у якій проводяться всі технологічні операції, зв'язані безпосередньо з її проходкою, називається вибоєм.

Усі виробки шахти, по характеру провітрювання, можна розділити на дві групи – наскрізні і тупикові. Наскрізні це ті, що провітрюються за рахунок роботи вентиляторів головного провітрювання і дії природної тяги. Тупикові – за рахунок спеціальних пристроїв і вентиляторів. Іноді, вентиляцію підготовчих виробок називають «місцевим провітрюванням», а вентилятори, які використовують для подачі повітря в тупикові виробки – вентиляторами місцевого провітрювання (ВМП).

До вентиляції тупикових виробок пред'являються, загалом, ті ж вимоги, що і до очисних виробок: забезпечення нормальної фізіологічної діяльності людей, розведення і винос шкідливих газів.

#### 13.2 Вентиляція тупикових виробок за рахунок загальношахтної депресії

Цей спосіб провітрювання здійснюється із застосуванням подовжніх перегородок, що розділяють виробки по всій їх довжині, на дві частини (рис. 21). Подовжні перегородки рекомендується застосовувати при невеликій довжині

виробки (до 60 м), коли в неї необхідно подати велику кількість повітря. Перегородка виготовляється з дощок, цегли, прогумованої тканини. Основна вимога до неї – щільність.

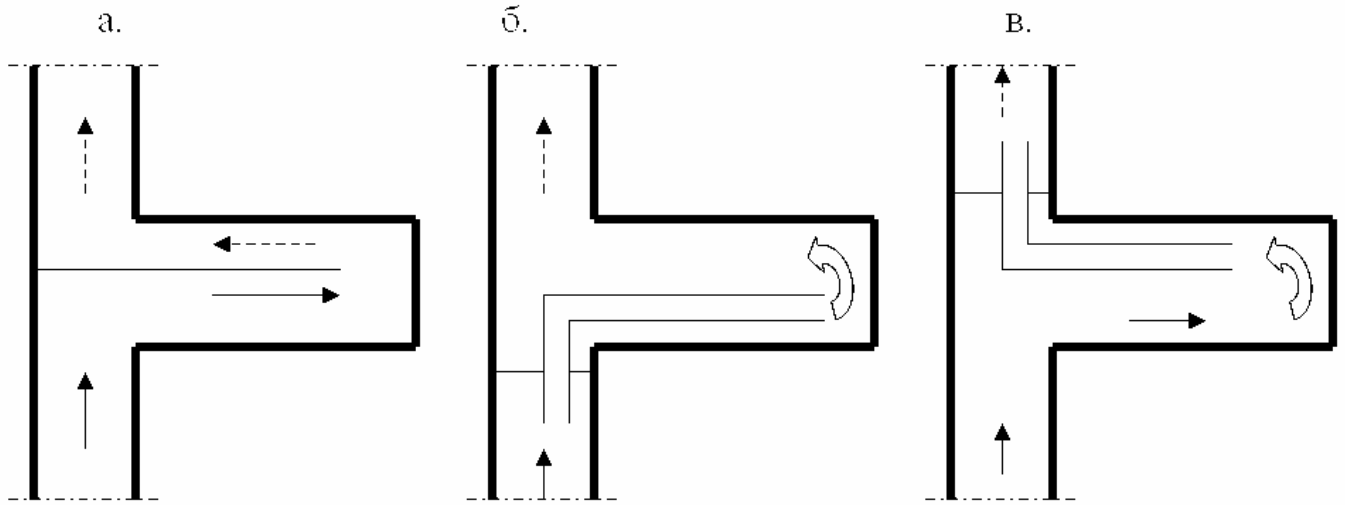


Рис. 21 – Схеми провітрювання тупикової виробки за допомогою перегородки (а) і вентиляційної труби (б, в)

При проведенні парних виробок, вони збиваються між собою через визначені проміжки. В міру пересування вибоїв, у збійках між ними, установлюють вентиляційні споруди.

### 13.3 Вентиляція тупикових виробок із використанням вентиляторів місцевого провітрювання

Застосовуються наступні способи провітрювання: нагнітальний, усмоктувальний і комбінований.

Нагнітальний спосіб провітрювання найбільш розповсюджений (рис. 22). Він є обов'язковим для газових шахт. Припустиме «відставання» кінця трубопроводу від вибою визначається по формулі В.Н. Вороніна

$$l \leq 4\sqrt{S_e},$$

де  $S_e$  – площа поперечного перерізу виробки, м<sup>2</sup>.

За Правилами безпеки ця відстань, на газових шахтах не повинна бути менше 8 м.

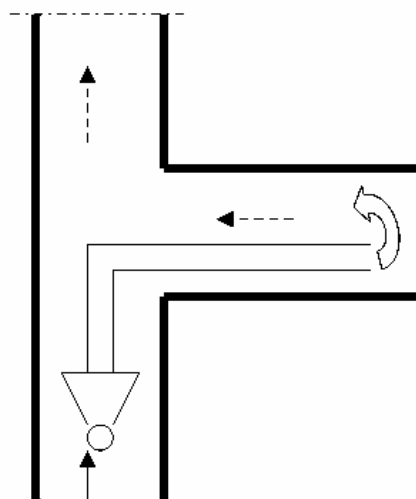


Рис. 22 – Схема нагнітального провітрювання тупикової виробки

До достоїнств цього способу провітрювання, варто віднести подачу свіжого повітря у вибій і зниження концентрації газів у виробці за рахунок витоків повітря з трубопроводу по довжині виробки. У цьому випадку, витoki повітря з трубопроводу відіграють позитивну роль.

При організації цього способу провітрювання, Правила безпеки висувають визначені вимоги до місця установки вентилятора місцевого провітрювання і його режиму роботи. Так, ВМП не повинний установлюватися ближче 10 м від устя тупикової виробки, а його подача не повинна перевищувати 70 % від кількості повітря в місці його установки. При цьому передбачається, що ВМП установлюється у виробці з наскрізним провітрюванням. Ці обмеження спрямовані на запобігання явища перекидання потоку повітря на дільниці між устям виробки і місцем установки ВМП. При цьому виникає рециркуляція повітря.

Усмоктувальне провітрювання можна застосовувати на негазових шахтах. Його головним достоїнством є те, що вихідне повітря видаляється з виробки по трубопроводу. Однак, відставання кінця трубопроводу від вибою призводить до утворення застійної, малопровітрюваної зони. При усмоктувальному провітрюванні використовуються жорсткі (металеві) трубопроводи.

При комбінованому способі провітрювання можна застосувати два вентилятори. Один, із коротким трубопроводом, працює на нагнітання і встановлюється поблизу вибою, а другий – працює на усмоктування і встановлюється не ближче 10 м від устя виробки. Цей спосіб провітрювання рекомендується для застосування на негазових шахтах при швидкісній проходці. Він поєднує достоїнства усмоктувального і нагнітального способів провітрювання. Нагнітальний – забезпечує активне провітрювання привибійного простору, а усмоктувальний – видалення вихідного повітря по трубопроводу.

#### 13.4 Вентиляційне устаткування

Для подачі повітря у вибої підготовчих виробок, використовуються жорсткі і гнучкі труби. Жорсткі труби виготовляють з металу чи склопластику. Вони мають велику міцність і тривалий термін служби. До недоліків жорстких труб варто віднести велику масу, труднощі доставки і велику кількість стиків. Це ускладнює монтаж жорстких трубопроводів. Крім того, наявність великої кількості стиків збільшує втрати повітря з трубопроводу. Товщина стінок металевих труб 2-2,5 мм, довжина ланки 2,5-4 м, діаметр 0,3-1 м і більш, маса одного метра 24-70 кг. Ланки труб з'єднують за допомогою фланцевих болтових з'єднань.

Гнучкі труби використовують при нагнітальному провітрюванні. Вони виготовляються з бавовняної чи комбінованої тканини і покриваються непальною гумою. Найбільш поширені труби з діаметром 0,6 і 0,8 м. Довжина однієї ланки 10 і 20 м, відповідно діаметрам. Ланки з'єднують пружними сталевими кільцями і хомутами. При працюючому вентиляторі місцевого провітрювання стики ланок самоущільнюються. Маса одного метра труби складає 1,3-2,3 кг.

Текстовінітові (штучна шкіра з бавовняної тканини) труби мають покриття з поліхлорвінілової пластмаси. Вони мають малу масу (у порівнянні з металевими) і високу стійкість до корозії.

Для зменшення шорсткості і повітропроникності гнучких і жорстких труб, в них рекомендується поміщати тонкі поліетиленові труби з меншим діаметром. Під

дією напору, що розвивається вентилятором, поліетиленові труби розпрямляються і, притискаючись до стінок труб, забезпечують зниження опору трубопроводу в 2-3 рази, практично виключаючи втрати повітря.

Аеродинамічний опір трубопроводів залежить від якості монтажу і статичного тиску, що розвивається вентилятором. При слабкому натягу труб і невеликому тиску, величина аеродинамічного опору гнучкого трубопроводу може збільшитися на 25 %. Крім того, необхідно враховувати, що в реальних умовах трубопровід може мати кілька поворотів, а опір кожного повороту, дорівнює опору 10-20 м трубопроводу.

Для подачі повітря в тупикові гірничі виробки застосовують, найчастіше, осьові вентилятори місцевого провітрювання з електричним чи пневматичним приводом. Найбільше поширення одержали вентилятори типу СВМ, ВМ, ВМП. Для провітрювання шахтних стволів і виробок великої довжини можуть використовуватися відцентрові вентилятори ОЦ, ВЦП, ВЦО і ВМЦГ. Подача сучасних вентиляторів місцевого провітрювання досягає  $30 \text{ м}^3/\text{с}$ , а депресія 600-800 даПа.

Забезпечення надійності систем місцевого провітрювання здійснюється за допомогою резервування. Для цього, разом з основним, установлюється резервний вентилятор місцевого провітрювання, який, у випадку відмовлення основного вентилятора, автоматично включається в роботу. Резервний вентилятор приєднується до робочого трубопроводу за допомогою спеціального «трійника», із перекидним клапаном, і відрізків гнучких труб.

### 13.5 Особливості місцевого провітрювання з трубопроводами великої довжини

У практиці проведення підготовчих виробок можливі два основних варіанти організації місцевого провітрювання: перший – коли вентилятор (-ри) установлюються у устя тупикової виробки великої довжини; другий – коли довжина тупикової виробки невелика, але вентилятор установлений на значній відстані від її устя. В обох випадках, у залежності від конкретних умов, можна використовувати різні способи провітрювання:

- один вентилятор, що працює на трубопровід великого діаметра ( $> 1\text{м}$ ) чи два паралельних трубопроводи;
- два ВМП, кожний з який працює на свій трубопровід;
- каскадна установка вентиляторів (на початку трубопроводу, у міру подовження тупикової виробки, установлюють послідовно декілька ВМП (рис. 23).

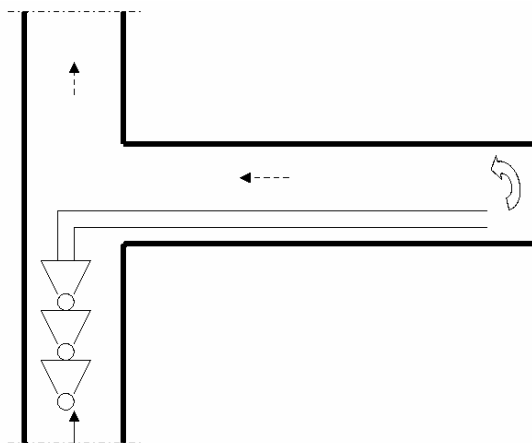


Рис. 23 – Схема каскадної установки ВМП

Використання трубопроводу великого діаметра чи двох трубопроводів, можливо тільки при проходці виробок великого перерізу, де ці трубопроводи не заважають руху шахтного транспорту. Каскадна установка вентиляторів рекомендується для газових шахт, тому, що в цьому випадку усі вентилятори і пускова апаратура встановлюються у виробках із свіжим струменем повітря.

Попередня оцінка необхідної кількості вентиляторів у каскаді виконується по величині необхідної подачі вентилятора (з урахуванням втрат повітря по всій довжині трубопроводу) і депресії, що забезпечує цю подачу. Спочатку вибирається вентилятор, робоча характеристика якого, може забезпечити розрахункову подачу, а потім, побудувавши сумарні характеристики 2-3 послідовно працюючих вентиляторів (рис. 11), по ординаті точки перетину цієї сумарної характеристики з аеродинамічною характеристикою трубопроводу, можна оцінити необхідну кількість ВМП у каскаді. У реальних умовах, необхідність додавання в каскад наступного вентилятора контролюється по витраті повітря, що надходить у вибір тупикового виробки.

Застосування розосередженої схеми установки вентиляторів (ВМП) встановлюють на визначеній відстані друг від друга, по всій довжині трубопроводу) можливо на негазовій шахті. Однак, на практиці, при проходці виробок великої довжини, місце установки кожного вентилятора, необхідно визначати експериментально, тому, що розрахункові методи досить приблизні. Крім того, при каскадній установці, простіше організувати контроль і обслуговування ВМП.

Іноді, при підготовці якоїсь частини шахтного поля, проходяться відразу кілька тупикових виробок. У цих випадках, необхідність застосування довгих трубопроводів, може виникнути через неможливість установки декількох вентиляторів у одній виробці, тому, що сумарна подача всіх вентиляторів може перевищити величину, яка становить 70 % від витрати повітря, що надходить в дану виробку. Так, наприклад, у схемі підготовки уклонного поля (рис. 24) одночасно проходяться дві виробки.

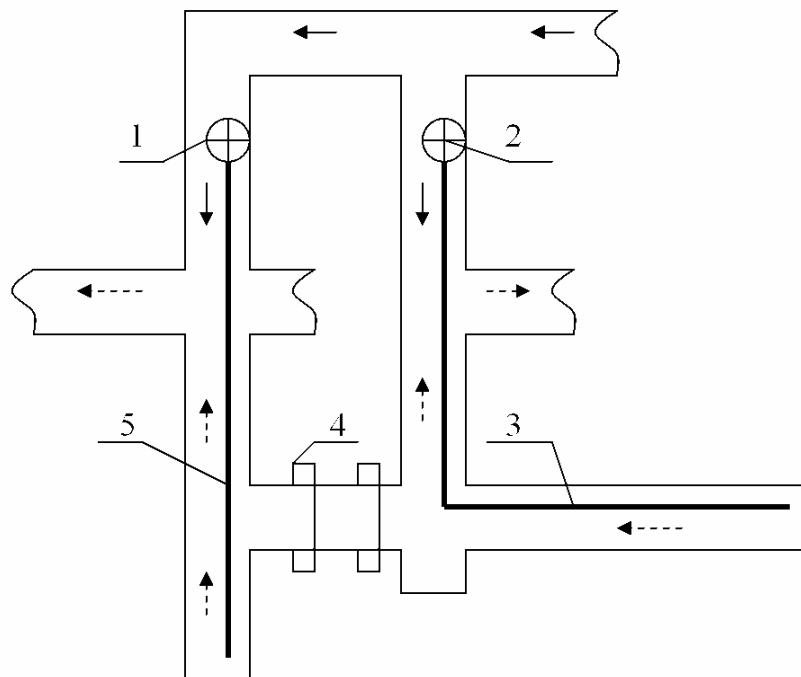


Рис. 24 – Схема провітрювання тупикових вибоїв  
1, 2 – ВМП; 3, 5 – трубопроводи; 4 – вентиляційні двері

В усіх випадках ВМП установлені не в усті тупикової виробки, а на деякій відстані від цього устя, у місцях, де подача ВМП складає не менш 70 % від кількості повітря у виробці. При цьому довжина трубопроводів може складати до 600-800 м, а безпосередньо тупикова частина – всього 50-70 м. У деяких схемах вентиляції, там, де устя тупикової виробки примикає до виробки з вихідним струменем повітря, вентиляційний трубопровід прокладається через вентиляційні споруди (двері, шлюзи), що розділяють ці струмені повітря.

## **14. СПОСОБИ ПРОВІТРЮВАННЯ І СХЕМИ ВЕНТИЛЯЦІЇ ШАХТ**

### **14.1 Способи провітрювання шахт**

Способи вентиляції шахт, у залежності від способу створення необхідного перепаду тиску (депресії) у гірничих виробках, поділяються на усмоктувальний, нагнітальний і комбінований (нагнітально-усмоктувальний). На шахтах України, в основному, використовується усмоктувальний спосіб вентиляції.

Сутність усмоктувального способу вентиляції полягає в тому, що з боку усмоктувальної частини вентилятора, при його роботі, створюється розрядження (знижений, у порівнянні з атмосферним, тиск). При цьому тиск повітря в будь-якій частині шахти менше атмосферного. При зупинці вентилятора, повітря буде ще якийсь час надходити в шахту за рахунок цієї різниці тисків. Надалі, після вирівнювання тисків, повітря буде надходити в гірничі виробки тільки за рахунок дії природної тяги.

Усмоктувальний спосіб провітрювання рекомендується на всіх газових шахтах, тому, що підвищення тиску повітря, при зупинці вентилятора, призводить до часткового зменшення газовиділення в гірничі виробки. Цей спосіб особливо ефективний при фланговій схемі провітрювання, коли окремі частини шахтного поля провітрюються різними вентиляторами. Разом із тим, при фланговій схемі провітрювання з декількома вентиляторами, ускладнюється регулювання повітророзподілення між окремими частинами шахти.

Усмоктувальний спосіб провітрювання рекомендується застосовувати при глибині відпрацьовування більш 200 м, коли відсутні аеродинамічні зв'язки гірничих виробок із поверхнею.

До достоїнств нагнітального способу провітрювання відносяться – можливість застосування однієї головної вентиляційної установки для розгалуженої шахтної вентиляційної мережі, стійкість роботи головного вентилятора і можливість ефективного регулювання повітророзподілення в шахті. Головним недоліком цього способу провітрювання є небезпека збільшення газовиділення в гірничі виробки після зупинки вентилятора головного провітрювання.

Нагнітально-усмоктувальний спосіб провітрювання шахт дозволяє створювати в вентиляційній мережі зони «нульового» тиску. У цих частинах шахти тиск у гірничих виробках дорівнює атмосферному (тиску на поверхні), унаслідок чого, відсутні втрати повітря між виробками і поверхнею. При одночасній роботі частини вентиляторів на нагнітання, а частини – на розрядження, в одних виробках створюється підвищений (у порівнянні з атмосферним), а в інших – знижений тиск. Цей спосіб провітрювання рекомендується у всіх випадках відпрацьовання

самозаймистих вугіль при наявності аеродинамічних зв'язків між гірничими виробками і поверхнею. Недолік – складність керування провітрюванням.

#### 14.2 Схеми вентиляції вугільних шахт

Схеми вентиляції, у залежності від взаємного розташування виробок, по яких подається свіже і видаляється забруднене повітря, можна розділити на центральні, флангові і комбіновані.

Центральні схеми, у свою чергу, поділяються на: центрально-здвоєні і центрально-віднесені. У першому випадку повітроподавальний і повітровидавальний стволи розташовуються в центрі шахтного поля (рис. 25). Свіже повітря розподіляється на крила шахтного поля, а потім, проходячи по очисних і підготовчих вибоях, повертається до повітровидавального ствола. Відстань між стволами складає 30-100 м. Ця схема застосовується при глибині ведення гірничих робіт більше ніж 200 м.

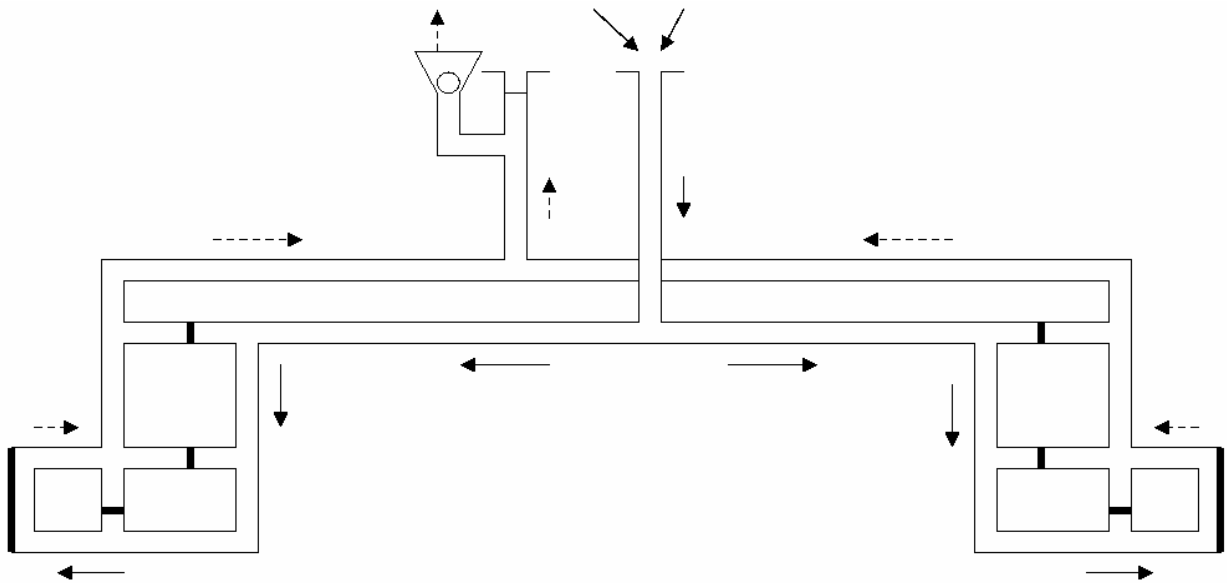


Рис. 25 – Центрально-здвоєна схема вентиляції шахти

Центрально-віднесена схема може застосуватися при відпрацюванні верхньої частини шахтного поля (рис. 26), наприклад, бремсбергового поля. Тут, стволи можуть розташовуватися на значній відстані один від одного.

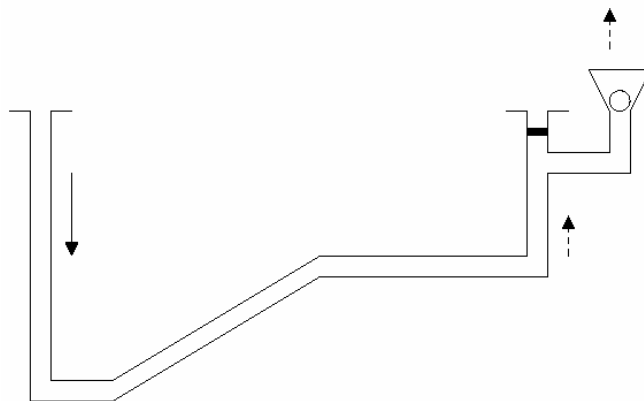


Рис. 26 – Центрально-віднесена схема вентиляції шахти

Переваги центральних схем – відносно невеликі капітальні витрати, швидке введення шахти в експлуатацію, одна вентиляторна установка, незначні втрати

вугілля в ціликах, простота керування провітрюванням. Недоліки – висока депресія шахт, великі внутрішні витоки повітря, відсутність резерву можливостей регулювання режиму роботи вентилятора, з урахуванням можливого збільшення опору шахтної вентиляційної мережі.

При розкритті шахтного поля в центрі і на його межах, застосовуються флангові (діагональні) схеми провітрювання шахт. Ці схеми провітрювання можна віднести до прямоточних. Повітря надходить у шахту в центрі шахтного поля, розподіляється по окремих крилах і, після провітрювання очисних вибоїв, видаляється через флангові стволи. Серед усіх різновидів флангових схем вентиляції можна виділити крильову, групову і дільничну (рис. 27).

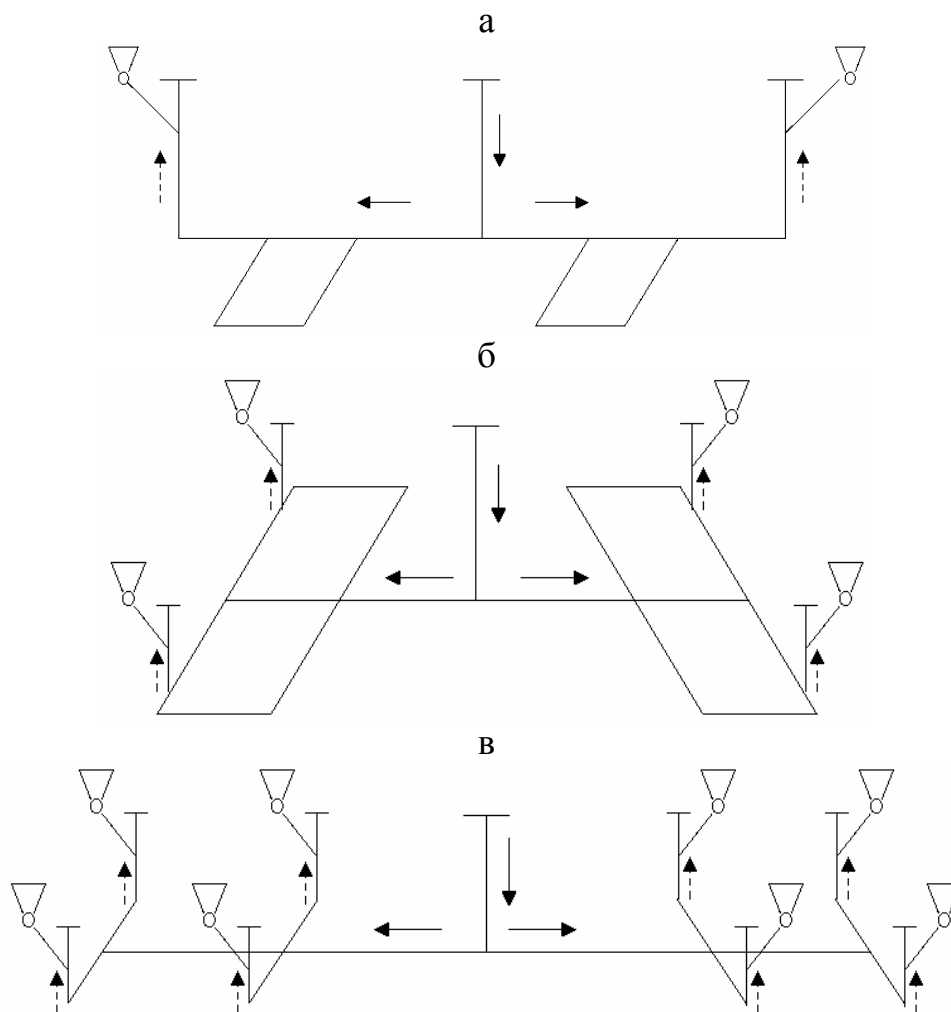


Рис. 27 – Флангові схеми вентиляції шахт: а – крильова; б – групова; в – дільнична

До переваг флангових схем вентиляції відносяться мінімальні втрати повітря, при його прямуванні від стволів до очисних вибоїв, скорочення зовнішніх витоків (підсмоктувань) повітря, тому, що флангові стволи, як правило, не використовуються для транспортування вантажів (в устях цих стволів можна забезпечити якісну герметизацію), зниження загальношахтної депресії (за рахунок скорочення шляху прямування повітря), менші вимоги до резерву глибини регулювання вентиляторів.

Недоліки флангових схем – великі капітальні витрати (початок очисних робіт можливий тільки після проведення виробок до меж шахтного поля), збільшення



втрат корисної копалини в охоронних ціликах біля стволів, велика кількість вентиляторних установок, труднощі загальношахтного реверсування.

У комбінованих схемах вентиляції (рис. 28) використовуються елементи центральних і флангових схем. Так, наприклад, один повітровидавальний ствол може розташовуватися в центрі шахтного поля, а інші – на флангах. При цьому вихідний вентиляційний струмінь з виїмкових ділянок, розташованих у центрі шахтного поля, видається по центральному стволу, а з ділянок, розташованих на флангах – по флангових стволах.

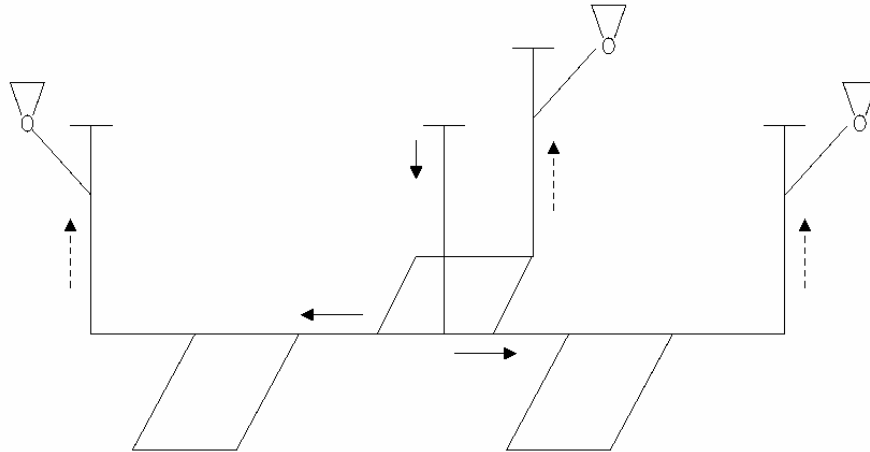


Рис. 28 – Комбінована схема вентиляції шахти

У комбінованій секційній схемі провітрювання, на великих шахтах, кожна секція має свій повітровидавальний ствол, а в центрі повітроподавальні стволи і скіповий ствол – загальний для всіх секцій. Виробки кожної секції провітрюються відособленим струменем повітря. На великих шахтах для подачі і відводу повітря можуть використовуватися до десятка стволів. До переваг комбінованих схем вентиляції можна віднести невелику депресію вентиляторів головного провітрювання, підвищення надійності провітрювання окремих ділянок шахти, простота регулювання повітророзподілення в межах окремих ділянок, велика кількість запасних виходів із шахти. Недоліки цих схем – складність вентиляційної мережі, складність загальношахтного регулювання повітророзподілення і великі капітальні витрати.

## 15. ПРОЕКТУВАННЯ ВЕНТИЛЯЦІЇ ШАХТ

### 15.1 Способи і схеми провітрювання шахти

Основним способом провітрювання вважається усмоктувальний. Він рекомендується для всіх газових шахт. Нагнітальний – для негазових чи для газових шахт з метановістю не більш  $10 \text{ м}^3/\text{т}$ , при відпрацюванні першого поверху гірничих виробок, що мають зв'язок, відроблених просторів з поверхнею. Нагнітально-усмоктувальний спосіб вентиляції рекомендується в разі потреби зменшити витіки повітря через відроблені простори, зв'язані з поверхнею.

Найбільш розповсюджена – флангова схема провітрювання. Вона рекомендується при великих розмірах виїмкових полів, при розробці газоносних,

схильних до самозаймання пластів. Центральні схеми застосовують при невеликій довжині (до 2 км) виїмкових полів.

## 15.2 Розрахунок витрати повітря для провітрювання шахти

Витрата повітря, необхідного для провітрювання шахти ( $Q_{ш}$ ), складається із сумарних витрат повітря, яке йде на провітрювання виїмкових дільниць ( $Q_{уч}$ ), тупикових виробок ( $Q_{т.в}$ ), виробок що погашаються ( $Q_{пог.в}$ ) і підтримуваних ( $Q_{под.в}$ ) виробок, камер ( $Q_{к}$ ) і витоків повітря ( $Q_{ум}$ ) через вентиляційні споруди, за межами виїмкових дільниць

$$Q_{ш} = 1,1(\Sigma Q_{уч} + \Sigma Q_{т.в} + \Sigma Q_{пог.в} + \Sigma Q_{под.в} + \Sigma Q_{к} + \Sigma Q_{ум}).$$

Величина  $Q_{ш}$  при проектуванні нової шахти повинна задовольняти умові

$$Q_{ш} \geq 133,3(\Sigma I_{уч} + \Sigma I_{т.в} + \Sigma I_{см} + \Sigma I_{о.в}).$$

Величини абсолютних середніх газовиділень для виїмкових дільниць ( $\Sigma I_{уч}$ ), тупикових виробок ( $\Sigma I_{т.в}$ ), зі старих вироблених просторів ( $\Sigma I_{см}$ ), що погашаються і підтримуваних виробок ( $\Sigma I_{о.в}$ ) визначаються на підставі прогнозу метановості по метановості вугільних пластів.

Для діючих шахт повинна виконуватися умова

$$Q_{ш} \geq \frac{100k_{н.ш}}{C - C_0} \Sigma \bar{I}_{вх},$$

де  $k_{н.ш}$  – коефіцієнт нерівномірності газовиділення в шахті; для Дніпропетровського регіону приймається 2,3, а для інших – 1,1;

$C$  – припустима концентрація газу по ПБ у вихідних із шахти вентиляційних струменях;

$C_0$  – концентрація метану у струмені, що надходить;

$\Sigma \bar{I}_{вх}$  – абсолютне середнє газовиділення в струменях, що виходять із шахти, м<sup>3</sup>/хв.

### 15.2.1 Витрата повітря для провітрювання виїмкових дільниць.

Для схем типу 1-В у разі виконання умови

$$\frac{\bar{I}_{уч}}{\bar{I}_{оч}} \leq \frac{k_{ум.в}}{k_{о.з}},$$

розрахунок ведеться по формулі

$$Q_{уч} = Q_{оч} \frac{k_{ум.в}}{k_{о.з}},$$

де  $k_{ум.в}$  – коефіцієнт, що враховує виток повітря через відроблений простір в межах виїмкової дільниці;

$k_{о.з}$  – коефіцієнт, що враховує рух повітря по частині відробленого простору, що безпосередньо прилягає до привибійного.

У разі невиконання умови, а також для схем усіх інших типів схем, розрахунок ведеться по формулі

$$Q_{уч} = \frac{100\bar{I}_{уч}k_n}{C - C_0},$$

де  $k_n$  – коефіцієнт нерівномірності метановиділення;

$C$  – припустима, згідно ПБ, концентрація метану у вихідному струмені дільниці;

$C_0$  – концентрація метану у струмені, що надходить; для дільниць, що проектуються, приймається 0,05 %.

### 15.2.2 Витрата повітря для провітрювання очисних вибоїв.

Для схем типу 1-М витрата повітря по газовиділенню розраховується по формулі

$$Q_{оч} = Q_{уч} \frac{k_{о.з}}{k_{ум.в}},$$

а для схем усіх інших типів, розрахунок ведеться по формулі

$$Q_{оч} = \frac{100 \bar{I}_{оч} k_n}{C - C_0}.$$

Витрата повітря по газам, що утворюються при виконанні підричних робіт розраховується по формулі

$$Q_{оч} = \frac{34}{T} \sqrt{B_{уч} V_{оч}} k_{о.з},$$

де  $T$  – час провітрювання виробки;

$B_{уч}$  – маса ВР, що одночасно підривається по вугіллю;

$V_{оч}$  – об'єм очисної виробки, що провітрюється.

Витрата повітря по кількості людей розраховується по формулі

$$Q_{оч} = 6n_{чел} k_{о.з}.$$

Витрата повітря за умови оптимальної швидкості повітря по пиловому фактору розраховується по формулі

$$Q_{оч} = 60S_{оч.мин} V_{опт} k_{о.з},$$

де  $V_{опт}$  – оптимальна швидкість повітря; приймається 1,6 м/с.

Остаточо приймається максимальний результат та виконується перевірка за формулою

$$60S_{оч.макс} V_{мин} k_{о.з} \leq Q_{оч} \leq 60S_{оч.мин} V_{макс} k_{о.з}.$$

### 15.2.3 Витрата повітря для провітрювання привибійного простору підготовчої виробки.

Витрата повітря по газовиділенню, коли проходка ведеться комбайном чи відбійними молотками, розраховується по формулі

$$Q_{з.н} = \frac{100I_{з.н}}{C - C_0},$$

а при підричному способі, по формулі

$$Q_{з.н} = \frac{S \cdot l_{з.мп}}{k_{м.д}} \left[ \frac{71 \cdot I_{з.н.макс}}{S \cdot l_{з.мп} (C_{макс} - C_0) + 18 \cdot I_{з.н.макс}} \right]^2,$$

де  $S$  – площа поперечного перерізу виробки, м<sup>2</sup>;

$l_{з.мп}$  – відстань від кінця трубопроводу до забою, м;

$k_{м.д}$  – коефіцієнт турбулентної дифузії; приймається 1, а при  $S > 10$  м<sup>2</sup> – 0,8;

$I_{з.н.макс}$  – максимальне метановиділення у вибої після підривання по вугіллю, м<sup>3</sup>/хв;

$C_{макс}$  – максимально припустима концентрація метану у привибійному просторі після підривання по вугіллю; приймається 2 %.

Витрата повітря по газам, що утворюються при підричних роботах розраховується по формулі

$$Q_{з.н} = \frac{2,25}{T} \sqrt[3]{\frac{V_{BB} \bar{S}^2 l_n^2 k_{обв}}{k_{м.мп}^2}},$$

де  $V_{BB}$  – об'єм шкідливих газів, що утворюються після підривання, л;

$\bar{S}$  – середня площа поперечного перерізу виробки, м<sup>2</sup>;

$l_n$  – довжина тупикової частини виробки, м;

$k_{обв}$  – коефіцієнт обводненості виробки;

$k_{м.мп}$  – коефіцієнт, що враховує витоки повітря через вентиляційний трубопровід.

Витрата повітря за кількістю людей розраховується по формулі

$$Q_{з.н} = 6n_{чел.з.н},$$

де  $n_{чел.з.н}$  – максимальна кількість людей у привибійному просторі виробки.

Витрата повітря по мінімальній швидкості (згідно ПБ) повітря розраховується по формулі

$$Q_{з.н} = 60V_{н.мін} S.$$

Витрата повітря по його мінімальній швидкості (в залежності від температури та відносної вологості повітря) розраховується по формулі

$$Q_{з.н} = 20V_{з.мін} S.$$

#### 15.2.4 Витрата повітря для провітрювання всієї підготовчої виробки.

Витрата повітря по газовиділенню розраховується по формулі

$$Q_n = \frac{100I_n k_{н.н}}{C - C_0},$$

де  $k_{н.н}$  – коефіцієнт нерівномірності метановиділення; для Донбасу приймається 1.

Витрата повітря за кількістю людей розраховується по формулі

$$Q_n = 6n_{чел.н},$$

де  $n_{чел.н}$  – максимальна кількість людей, що одночасно працюють у виробці.

#### 15.2.5 Вибір засобів провітрювання підготовчої виробки.

Подача вентилятора розраховується по формулі

$$Q_в = Q_{з.н} k_{ум.мп}.$$

Тиск вентилятора, що працює на гнучкий чи комбінований трубопровід розраховується по формулі

$$h_в = Q_в^2 R_{мп.г} \left( \frac{0,59}{k_{ум.мп}} + 0,41 \right)^2,$$

де  $R_{мп.г}$  – аеродинамічний опір гнучкого трубопроводу.

Це координати розрахункової точки на аеродинамічній характеристиці ВМП. Далі визначаються координати робочої точки, і перевіряється витрата повітря в усті підготовчої виробки.

#### 15.2.6 Витрата повітря для виробок, що погашаються і підтримуються.

Якщо погашається виїмкова дільниця, то витрата повітря розраховується по фактичному газовиділенню. При відсутності цих даних, витрата повітря приймається як половина витрати, необхідної для провітрювання діючої дільниці.

Для всіх інших, та для виробок що підтримуються (ті, які не використовуються для подачі свіжого повітря і видалення відпрацьованого), розрахунок ведеться по мінімальній швидкості повітря.

$$Q_{nod.6} = 60V_{min} S.$$

Величина  $V_{min}$  для шахт, що проектуються III категорії і вище – 0,25 м/с, крім транспортних виробок. Для головних транспортних виробок зі стрічковими конвеєрами – 0,7-1,3 м/с. Для підтримуваних виробок, з довжиною не більш 30м, із дверима – по нормах витоків.

### 15.2.7 Витрата повітря для провітрювання камер.

Необхідна витрата повітря для складу ВМ

$$Q = 0,07 V_k,$$

де  $V_k$  – сумарний обсяг виробок складу ВМ.

Витрата повітря для зарядних камер ведеться по формулі

$$Q_k = \frac{31 \cdot 10^{-4} \sum_{i=1}^{n_6} E_i n_{ai}}{26 - t_{ex}},$$

де  $E_i$  – ємність акумулятора, А·год;

$n_{ai}$  – число акумуляторів у батареї;

$n_6$  – число батарей, що заряджаються одночасне.

При цьому повинна виконуватися умова

$$Q_k \geq \sum_{i=1}^{n_6} 30n_{6i} k_{\varepsilon_i},$$

де  $k_{\varepsilon_i}$  – коефіцієнт, що враховує тип батареї, що заряджається.

Для машинних камер і електроустаткування розрахунок ведеться по окремій формулі.

### 15.2.8 Витоки повітря через вентиляційні споруди

Величина витоків повітря через вентиляційні споруди за межами виїмкових дільниць ( $Q_{ут.ш}$ ), розраховується як сума витоків повітря через глухі перемички ( $\Sigma Q_{ут.г}$ ), через шлюзи ( $\Sigma Q_{ут.шл}$ ), кросинги ( $\Sigma Q_{ут.кр}$  – норма витоку через шлюз збільшена в 1,25 рази) і завантажувальні пристрої ( $\Sigma Q_{ут.заг}$ )

$$Q_{ут.ш} = \Sigma Q_{ут.г} + \Sigma Q_{ут.шл} + \Sigma Q_{ут.кр} + \Sigma Q_{ут.заг}.$$

### 15.3 Подача вентиляційних установок.

Подача вентиляційної установки (зовнішні витоки-підсмоктування повітря розраховані по нормах) визначається по формулі

$$Q_в = Q_{ши} + \Sigma Q_{ут.вн},$$

де  $Q_{ши}$  – витрата повітря із шахти, що надходить до даного вентилятора;

$\Sigma Q_{ут.вн}$  – виток (підсмоктування) повітря в усті ствола і у канал вентилятора.

Якщо витоки враховуються коефіцієнтом зовнішніх витоків, то подача вентилятора дорівнює

$$Q_в = Q_{ши} k_{ут.вн}.$$

З урахуванням резерву подачі повітря

$$Q_{в.р} = 1,14 Q_{в.у}.$$

Норми зовнішніх витоків (підсмоктувань) відповідають перепаду тиску 200 даПа. Для інших перепадів вони перераховуються за формулою

$$Q_{ут.вн} = Q_{ут.н} \sqrt{\frac{h}{200}}.$$

При нагнітальному провітрюванні витоки треба збільшити на 13 %.

#### 15.4 Розрахунок депресії шахти

Максимальна статична депресія мережі, на яку працює ВГП (депресія шахти) обмежується величиною 300 даПа. Для надкатегорних, небезпечних по викидах і з потужністю, більш 4000 т на добу – до 450 даПа. На діючих шахтах при доробці запасів останніх поверхів терміном 15-20 років і глибині більш 700 м і для шахт, що розробляють пласти не схильні до самозаймання, допускається – 800 даПа.

Депресія шахти приймається по максимальній депресії напрямку (маршруту) через очисні виробки.

Депресія напрямку визначається по формулі

$$h_n = h_{н.в} + h_{к.в} + h_k + h_{к.к},$$

де  $h_{н.в}$  – депресія підземних виробок напрямку, знаходиться як сума депресій послідовно з'єднаних гілок напрямку від устя повітроподавального ствола, до входу в канал вентилятора, з урахуванням коефіцієнта 1,1 – місцевих опорів;

$h_{к.в}$  – депресія каналу вентиляційної установки приймається 0,11  $h_{н.в}$  чи по спеціальних нормативах;

$h_k$  і  $h_{к.к}$  – депресії повітронагрівача і каналу повітронагрівача.

Депресія лави розраховується по формулі

$$h_{оч} = R_{оч} Q_{оч}^2,$$

де  $R_{оч}$  і  $Q_{оч}$  – відповідно, аеродинамічний опір лави і витрата повітря в ній.

Для лав з механізованим кріпленням аеродинамічний опір лави визначається по формулі

$$R_{оч} = 0,01 r_{100} l_{оч} + \frac{0,0612 (\xi_{вх} + \xi_{вих})}{S_{оч}^2},$$

де  $r_{100}$  – питомий опір лави довжиною 100 м;

$l_{оч}$  – довжина лави;

$\xi_{вх}$ ,  $\xi_{вих}$  – коефіцієнти місцевих опорів входу і виходу з лави.

Депресія капітальних і підготовчих виробок розраховується з урахуванням коефіцієнта ( $k_{н.р.в}$ ) нерівномірності розподілу повітря у вентиляційній мережі. Для загальношахтних виробок він дорівнює 1,563, а для інших 1.

Опір виробок можна розрахувати, використовуючи коефіцієнт аеродинамічного опору і геометричні параметри виробки

$$R = \alpha P_v l_v Q_v^2 / S^3.$$

Депресія розраховується по роках чи найбільш характерним періодам розвитку гірничих робіт. Розрахунок виконується для кожного пласта. Максимальна депресія визначається для передостаннього ярусу в панелі, виїмковому полі. Її величина не повинна перевищувати зазначені межі.

При прийнятті максимальної депресії більш 450 даПа, подача повітря на виїмкову дільницю повинна виконуватися по двох виробках – по схемах з відосбленим розбавленням шкідливостей, з автоматичними шлюзами між свіжим і вихідним струменем.

### 15.5 Вибір вентилятора головного провітрювання

Вихідними даними, для вибору ВГП, є необхідна величина його подачі і депресія, для початкового ( $Q_H, h_H$ ) і кінцевого ( $Q_K, h_K$ ) періодів експлуатації шахти. Вибір здійснюється по характеристиках вентиляторів (рис. 29), у межах їхньої області промислового використання (ОПВ). Робочі точки, з параметрами  $Q_H, h_H$  і  $Q_K, h_K$ , повинні лежати в межах ОПВ, з урахуванням резерву і можливості роботи вентиляторів з оптимальним коефіцієнтом корисної дії.

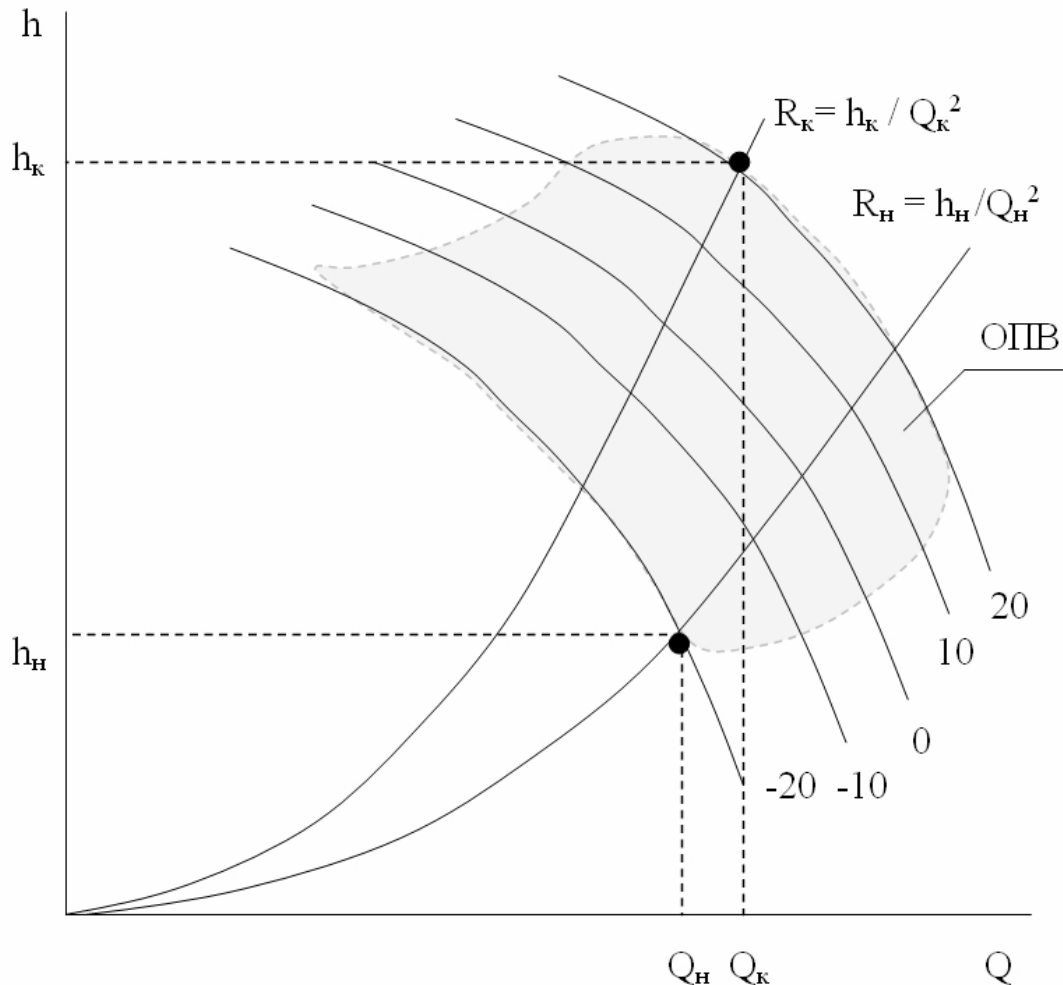


Рис. 29 – Область промислового використання вентилятора

## 16. ТЕПЛОВИЙ РЕЖИМ ШАХТ

Виїмка корисних копалин на глибоких шахтах і рудниках супроводжується підвищеним нагріванням повітря, що надходить у робочі вибої. У багатьох випадках температура повітря в гірничих виробках перевищує норми встановлені діючими Правилами безпеки (табл. 2).

Найбільш несприятливі умови складаються в очисних і підготовчих виробках.

Основними джерелами тепла в гірничих виробках є гірничий масив, виїмкові і транспортні механізми, електроустаткування, що транспортується, корисна копалина і шахтна вода. Ступінь впливу кожного з цих джерел тепла на температуру повітря в гірничих виробках залежить від системи розробки, схеми вентиляції і параметрів провітрювання, способу керування гірничим тиском і інших

гірничотехнічних параметрів. На глибині 800-1300 м температура повітря, без застосування заходів для її зниження, досягає 32-36°C. Такі умови негативно позначаються на здоров'ї і безпеці праці гірників, приводять до зниження навантаження на очисні вибої, темпів проведення гірничих виробок і, у кінцевому рахунку, до погіршення техніко-економічних показників роботи шахти.

Таблиця 2

Швидкість повітря, м/с	Припустима температура, °С, при відносній вологості, %		
	75 і менш	76-90	понад 90
До 0,25	24	23	22
0,26-0,50	25	24	23
0,51-1,00	26	25	24
1,01 і більш	26	26	26

На шахтах Донбасу приріст температури повітря в лавах часто перевищує 10°C. У цих умовах, забезпечення нормальних умов роботи в лавах можливо тільки при подачі в них повітря з температурою нижче 10°C. Для забезпечення таких теплових умов, необхідно застосовувати, на вугільних шахтах України, системи кондиціонування повітря з підземними стаціонарними холодильними установками. Вони обладнуються на горизонті, що відпрацьовується, а охолодження повітря здійснюється безпосередньо, у виробках виїмкових ділянок, за допомогою діляничних теплообмінників. Можливий варіант такої системи показаний на рис. 30.

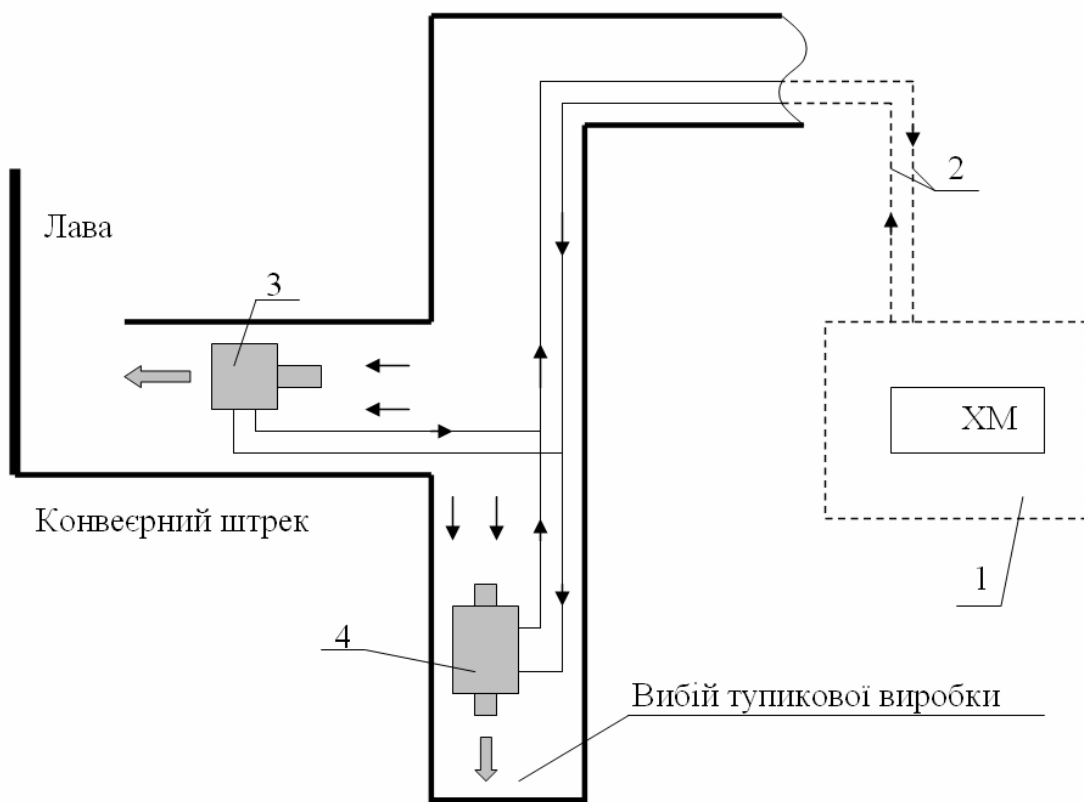


Рис. 30 – Схема системи підземного кондиціонування повітря:

- 1 – холодильна машина; 2 – трубопроводи з холодоносієм;
- 3 – штрековий повітроохолоджувач; 4 – тупиковий повітроохолоджувач



На додаток до дільничних повітроохолоджувачів, ефективним способом зниження температури в лавах, є розосереджена подача охолодженого (1-2°C) і осушеного (вологівміст 2-3 г/кг) повітря по довжині лави (наприклад, за допомогою перфорованого трубопроводу).

Система кондиціонування, у вибої тупикового виробки, яка проводиться за допомогою комбайна, дозволяє охолоджувати електродвигун і гідросистему прохідницького комбайна, повітря у нагнітальному вентиляційному трубопроводі і воду, у системі пилопригнічування (рис. 31). У загальному виді, вона містить у собі: вентиляційний трубопровід (1), повітроохолоджувач (2), повітровипускний патрубок (3), пристрій для охолодження двигуна комбайна (4), пристрій для охолодження гідросистеми комбайна (5), трубопровід системи пилопригнічування (6), водоохолоджуючий теплообмінник (7), пиловловлююча установка (8), трубопроводи для відводу (9) і підведення холодоносія (10). Безпосередньо у вибій подається 25 % від кількості повітря в трубопроводі. Від вибою повітря забирається вентилятором пилопригнічувальної установки і викидається за межі привибійної робочої зони.

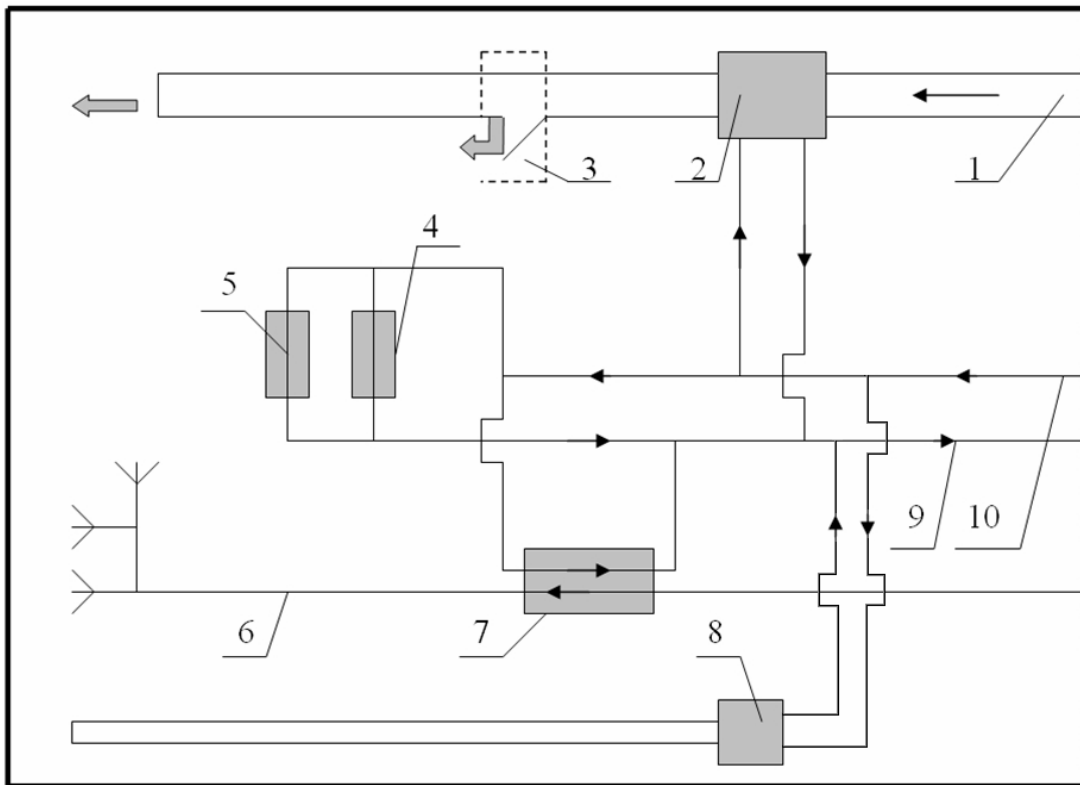


Рис. 31 – Схема кондиціонування повітря в привибійній зоні тупикової виробки з комбайновою проходкою

Застосування охолодженої води для пилопригнічування локалізує тепловиділення з гірничого масиву і зруйнованої гірничої маси. Охолоджена вода знижує тепловиділення двигуна і гідросистеми комбайна. При роботі даної системи кондиціонування, у привибійному просторі тупикової виробки забезпечується температура повітря 23,5-25,4°C.

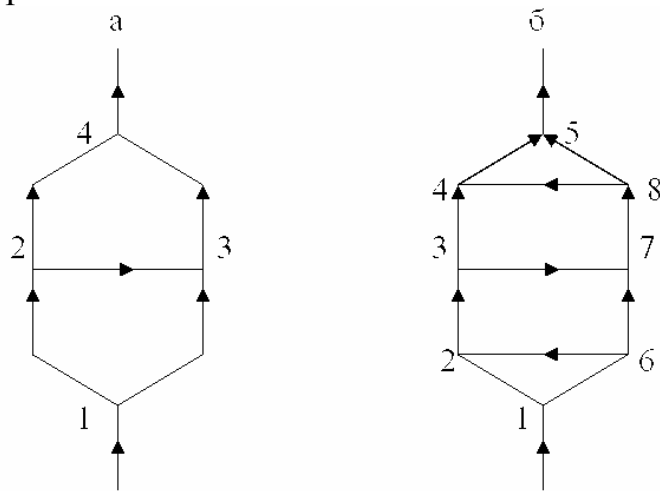
## 17. СТІЙКІСТЬ ПРОВІТРЮВАННЯ ГІРНИЧИХ ВИРОБОК

### 17.1 Загальні положення

Стійкість провітрювання – це здатність вентиляційної мережі зберігати задані витрату і напрямок руху повітря в гірничих виробках, при зміні опорів окремих елементів мережі.

Хитливе провітрювання небезпечно для виробок із джерелами газовиділення (очисні і підготовчі вибої, виробки, що примикають до виробленого простору). Небезпека полягає у виникненні погрози формуванню вибухонебезпечних концентрацій метану і вибуху, у випадку непередбаченого збільшення опору виробки (обвалення) чи його зменшення (відкривання вентиляційних дверей у шлюзі, при доставці матеріалів).

Небезпека перекидання вентиляційного струменя існує у виробках-діагоналях. Це виробки, у яких, напрямок рух повітря може змінитися на протилежний, при зміні опору інших гілок. Приклади простого (а) і складного (б) діагональних з'єднань приведені на рис. 32.



Основне правило виявлення діагоналі: якщо при русі з початку мережі (чи її частини) у її кінець можна пройти по якійсь гілці в прямому і зворотному напрямку, не заходячи двічі в одну гілку, то така гілка є діагоналлю.

В уклонних полях, із двома повітроподавальними виробками, як правило, усі ділянки повітроподавальної похилої виробки, пов'язаної з виробками з вихідним струменем, є діагоналями. Крім того, діагоналями є всі збійки між виробками з однаковим напрямком руху повітря. У залежності від особливостей з'єднання гірничих виробок у вентиляційній мережі, усі діагоналі можна розділити на три групи: між виробками зі свіжим і вихідним струменями, між двома свіжими і між двома вихідними струменями. Найбільш небезпечними є діагоналі між свіжим і вихідним струменями.

Усі гірничі виробки, що складають шахтну вентиляційну мережу, по їхньому впливу на витрату і напрямок рух повітря в конкретній виробці (діагоналі) поділяються на небезпечні по збільшенню опору і небезпечні по зменшенню опору. До перших відносяться гілки, по яким повітря підводиться до початку діагоналі і відводиться від кінця цієї виробки. Наприклад, 1-2, 3-4 (рис. 32 а). Друга група представлена гілками 1-3, 2-4. Усі ці гілки, зміна опору яких може призвести до

різкого зменшення витрати повітря і перекиданню вентиляційного струменя у виробці-діагоналі, називаються визначальними. Вплив визначальних гілок на режим провітрювання діагоналі залежить від далекості цих гілок від діагоналі.

Визначення стійкості по витраті і напрямку виконується для очисних і тупикових виробок і виробок з підсвіжувальними струменями на виїмкових дільницях. Оцінка стійкості по напрямку повинна проводитись також для виробок, з витоками повітря через вентиляційні споруди, між виїмковими дільницями.

Схеми провітрювання, по ступені стійкості, поділяються на три категорії.

Перша – з високим ступенем стійкості. Це вентиляційні мережі без діагоналей і з діагоналями, у яких перекидання практично неможливе. До цієї категорії відносяться схеми вентиляції, у яких, при зміні опорів виробок, зміна витрати повітря в очисних дільницях не перевищує 20 %, у всаса ВМП – 10 % від розрахункового.

Друга – із середнім ступенем стійкості. Це мережі з діагоналями, у яких можлива зміна напрямку руху повітря в аварійних умовах. У цих схемах зміни витрат повітря знаходяться в межах: для виробок виїмкових дільниць 20-50 %, у всаса ВМП – 10-30 % від розрахункового.

Третя – із низькою стійкістю. Витрати повітря у виїмкових дільницях зменшуються більш ніж на 50 %, у всаса ВМП – більш 30 % від розрахункового. Можливе перекидання вентиляційного струменя в діагоналях при нормальній роботі шахти.

Визначення стійкості провітрювання виконується на заключній стадії проектування шахти, виїмкової дільниці, а також, при введенні в експлуатацію нових лав, або при зміні схеми вентиляції діючої шахти.

## 17.2 Розрахунок стійкості провітрювання з застосуванням ПЕОМ

Для розрахунку може використовуватися програма розрахунку природного чи нормального повітророзподілення. Оцінка небезпеки закорочування (зменшення опору виробок з вентиляційними дверима) виконується шляхом моделювання зменшення опору виробки. Величина опору виробки з відкритими дверима визначається за результатами вимірів у шахті, чи розраховується. Цей опір визначається як сума, що складається з опору виробки і опорів отворів відкритих дверей. Для вентиляційних споруджень опір відкритих дверей (шлюзів) приймається в 100 разів менше нормального. Величина максимального збільшення опору виробок виїмкової дільниці складає: вентиляційної – у 7 разів, транспортної і лави – у 15 разів.

Після моделювання повітророзподілення, зі зміненими параметрами гірничих виробок, аналізуються результати розрахунків і визначається категорія стійкості схеми провітрювання.

## 17.3 Експериментальна оцінка стійкості провітрювання

При експериментальній оцінці небезпеки порушення стійкості провітрювання виробок виїмкової дільниці, у першу чергу, досліджуються наслідки можливого закорочування вентиляційних струменів, через вентиляційні споруди, розташовані у виробках, які примикають до виїмкової дільниці. Так, наприклад (рис. 33), перед

здачею в експлуатацію виїмкової ділянки, необхідно перевірити наслідки закорочування вентиляційного струменя через шлюзи у виробках 2-3 і 5-3.

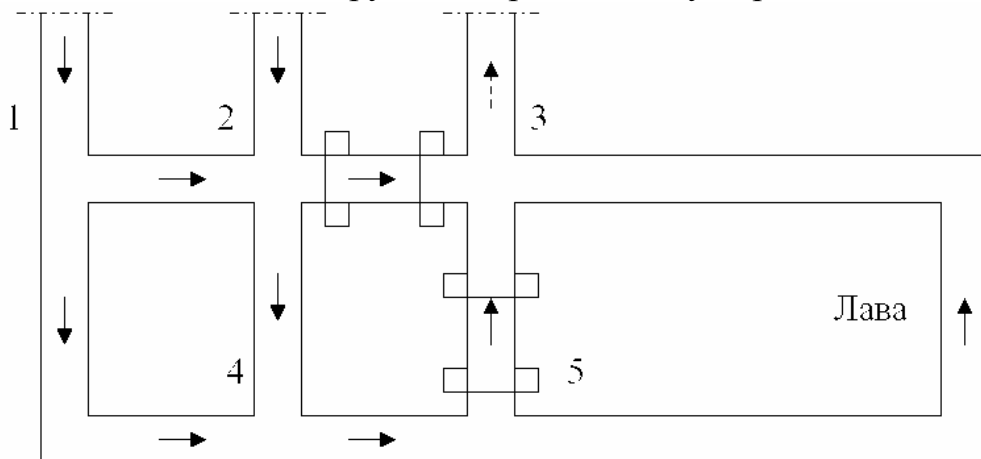


Рис. 33 – Схема вентиляції виїмкової ділянки

Експериментальна оцінка стійкості на газових шахтах, зв'язана з певним ризиком. Така оцінка проводиться тільки для вентиляційних споруджень (шлюзів). Вона проводиться за спеціальним планом, затвердженим головним інженером шахти, у вихідні чи святкові дні, після виходу всіх людей із шахти (виїмкового поля). У перелік заходів, що забезпечують експериментальне визначення стійкості, включаються і заходи ведення робіт, що забезпечують безпеку. Результати дослідної перевірки стійкості оформляються актом, що додається до паспорта виїмкової ділянки.

#### 17.4 Підвищення стійкості провітрювання

Основний напрямок підвищення стійкості провітрювання – зменшення числа вентиляційних споруджень і діагоналей, за рахунок застосування прямо струминних схем провітрювання виїмкових ділянок з видачею вихідного струменя по флангових виробках. Крім того, необхідно: обмежувати число збіжок між виробками зі свіжим і вихідним струменями повітря; установлювати регулятори витрат повітря безпосередньо в об'єктах регулювання; замість кросингів проходити обхідні виробки; при спорудженні шлюзів, передбачати таку відстань між дверима, яке дозволяло б розміщати там мінімум 1,5 состава з максимальною кількістю вагонеток, що забезпечують необхідні обсяги доставки вантажів, автоматизований контроль рівня вугілля в бункерах; збільшувати опір шляхів закорочування за рахунок зменшення розмірів дверей і установки в цих виробках додаткових отворів.

## 18. АВАРІЙНІ ВЕНТИЛЯЦІЙНІ РЕЖИМИ НА ВУГІЛЬНИХ ШАХТАХ

### 18.1 Загальні положення

Аварійні вентиляційні режими (АВР) – це спеціальні режими провітрювання шахти, групи виробок чи окремої виробки, які застосовуються після виникнення аварії. Режим провітрювання шахти в аварійній ситуації (аварійний вентиляційний режим) повинний забезпечити:

- Вихід людей у безпечні місця по маршрутах з мінімальною довжиною загазованих виробок.
- Відвід продуктів горіння найкоротшими шляхами на поверхню.
- Відсутність небезпеки появи шарових скупчень метану.
- Стійкість провітрювання виробок по напрямку (у першу чергу для похилих виробок).
- Зниження інтенсивності розвитку пожежі.
- Рух відділень ДВГРС по виробках зі свіжим струменем повітря.
- Роботу відділень ДВГРС по ліквідації аварії з боку свіжого струменя.

Всі аварійні режими провітрювання поділяються на дві основні групи: загальношахтні і місцеві (локальні). До першої групи відносяться – загальношахтне реверсування, комбінований режим і "нульовий" (зупинка вентиляторів і провітрювання шахти за рахунок дії природної тяги). Комбінований режим застосовується при пожежі на вентиляторній установці (усмоктувальне провітрювання шахти) – неаварійні вентилятори включаються на реверсивний режим провітрювання шахти, а аварійний – зупиняється.

До групи місцевих АВР можна включити: підвищення стійкості провітрювання (при пожежі в похилому виробленні), місцеве реверсування, "закорачування" вентиляційного струменя і спрямовану рециркуляцію пожежних газів. До місцевих режимів відноситься також, зменшення чи збільшення витрати повітря в аварійній дільниці.

## 18.2 Загальношахтні аварійні вентиляційні режими

### 18.2.1 Загальношахтне реверсування вентиляційних струменів.

Під загальношахтним реверсуванням вентиляційних струменів, як правило, розуміється зміна напрямку руху повітря у всіх виробках шахти. Перехід провітрювання шахти на цей режим здійснюється двома способами: зміною напрямку обертання колеса вентилятора (реверсивні вентилятори типу ВОД) чи за допомогою ляд і обвідних каналів вентиляторної установки.

Головна задача цього аварійного вентиляційного режиму – запобігти поширенню продуктів горіння по гірничих виробках і, тим самим, забезпечити безпечні умови евакуації гірників на поверхню.

Застосування цього режиму провітрювання передбачається при виникненні пожежі (вибуху) у межах певної групи виробок – так званій, зоні реверсування. Згідно діючих "Правил безпеки...", у зону загальношахтного реверсування, обов'язково повинні включатися повітроподавальні стволи і їх пристволові двори.

Зона реверсування на кожній шахті визначається самостійно, виходячи з конкретних гірничотехнічних умов. Рішення, про включення якоїсь виробки в зону реверсування, приймається в основному, з урахуванням наступних факторів:

- час виходу гірників із зони поширення пожежних газів, до найближчої виробки зі свіжим повітрям, перевищує час захисної дії саморятувальника;
- при виникненні пожежі в похилій виробці, не забезпечується стійкість вентиляційних потоків, тобто існує небезпека їхнього перекидання під дією теплової депресії пожежі, виникнення рециркуляції продуктів горіння і, у деяких випадках, виходу продуктів горіння з високою температурою на маршрути руху гірників;

- час руху гірничорятувальників у зоні загазування перевищує час захисної дії респіратора.

Загальношахтне реверсування, як правило, передбачається в планах ліквідації аварій (ПЛА) на всіх шахтах України і СНД. Разом з тим, при формуванні зони реверсування, варто звертати увагу на наступні недоліки цього режиму провітрювання:

- опір вентиляційних споруджень (двері, шлюзи) зменшується через низьку якість реверсивних дверей;
- герметизація вентиляційних споруджень в устях стволів (на яких встановлені ВГП), найчастіше, не розрахована на реверсивний режим провітрювання;
- збільшення опору вентиляційної установки;
- дія природної тяги, спрямована протилежно реверсивній роботі вентиляторних установок (найбільш складні умови виникають у холодний час року);
- на газових шахтах, після реверсування, виникає небезпека надходження підвищеної концентрації метану у вогнище пожежі.

Сумарна дія перших чотирьох факторів може привести до того, що надходження повітря в шахту зменшиться на 40-50 %; в окремих виїмкових полях – на 50-60 %, а в лавах – на 60-80 %. У деяких виробках можлива зупинка вентиляційного струменя. Запізнювання реверсування вентиляційного струменя в окремих ділянках шахти може сягати 10-20 хв.

Основний вплив на провітрювання гірничих виробок у реверсивному режимі робить збільшення величини зовнішніх і внутрішніх витоків повітря. Причинами збільшення зовнішніх витоків повітря є: погана герметизація шлюзів надшахтного будинку (на стволі де встановлений ВГП), нещільності в герметизації дверей для навішення скіпів, відсутність породної подушки в бункерах копра, установка простих (замість тих, що самоущільнюються) ляд, несправність чи відсутність стопорних пристроїв на лядях у каналах вентиляторів, нещільне закривання ляд через забруднення каналів вугільним пилом. У тих випадках, коли ляд, що відтинає усмоктувальну і нагнітальну частину вентиляційної установки, не цілком перекриває переріз каналу, виникає рециркуляція повітряного потоку у вентиляційній установці. Опір шляхів зовнішніх витоків може зменшитися в 14-62 рази, а величина витоків повітря може збільшитися до восьмикратного значення.

Основною причиною збільшення внутрішніх витоків повітря, при реверсуванні вентиляції, є низька якість реверсивних вентиляційних дверей. Внаслідок цього, опір вентиляційних споруджень (шлюзів), при реверсуванні, може зменшуватися в 25 і більш разів. Це приводить до закорочування вентиляційних струменів і зменшенню витрат повітря в об'єктах провітрювання.

Реверсування вентиляційного струменя, на сучасних шахтах, здійснюється двома способами: за допомогою обвідних каналів і зміною напрямку обертання робочого колеса вентилятора (реверсивні вентилятори). Недоліками першого способу є: втрати депресії на усмоктувальній будці і в обвідних каналах вентиляційної установки. Опір вентиляційної установки, після її переведення в реверсивний режим роботи, збільшується в 2-12 разів, за рахунок меншого перерізу, більшої довжини і поворотів обвідних каналів. Застосування ж реверсивних вентиляторів не завжди ефективно, тому що їхні робочі параметри в реверсивному

режимі роботи різко погіршуються. На більшості шахт України використовується перший спосіб реверсування вентиляційного струменя.

У нормальному режимі роботи, дія природної тяги, на шахтах глибиною більш 500 м, як правило, співпадає з роботою вентиляторів головного провітрювання. При переході на реверсивний режим провітрювання, природна тяга протидіє роботі вентиляторів, зменшуючи витрату повітря в шахті. Варто підкреслити, що негативна дія природної тяги, при загальношахтному реверсуванні, проявляється в самий відповідальний період – коли гірники виходять із загазованих виробок (при пожежі в зоні загальношахтного реверсування). Саме протидія природної тяги приводить до запізнювання реверсування, а в деяких випадках і до зупинки вентиляційного струменя у віддалених від стволів гірничих виробках. Цю обставину необхідно враховувати при складанні планів ліквідації аварій.

Необхідно також відзначити, що, при пожежі в похилій виробці, зі спадним провітрюванням, і наступному реверсуванні, виникає погроза перекидання вентиляційних потоків у паралельних виробках і у виробках, що примикають до аварійної дільниці, за вогнищем пожежі (по ходу вентиляційного струменя). Таким чином, при складанні ПЛА, необхідно проводити оцінку стійкості вентиляційних струменів не тільки для нормальних умов, але і для реверсивного режиму провітрювання.

Однією з помилок, що часто зустрічаються, є недооцінка небезпеки для людей, що знаходяться, у нормальному режимі провітрювання до вогнища пожежі. Особлива небезпека полягає в тім, що після реверсування продукти горіння вже можуть містити високу концентрацію СО оскільки повертаються через вогнище пожежі. У нормальному режимі, наростання змісту СО і диму в повітрі відбувається поступово, люди уловлюють запах гару і вчасно реагують на це. Після реверсування, людина може просто не встигнути включитися в само рятувальник. (відомий випадок, що відбувся у Караганді на шахті 50-річчя СРСР, де люди, що знаходилися під клітьовим стволом, після реверсування, опинилися в димі і, не устигнувши включитися в саморятувальники, загинули). Для попередження таких ситуацій необхідно:

- не допускати затримки реверсування вентиляційного струменя;
- пам'ятати про те, що перехід вентиляторної установки в реверсивний режим здійснюється не миттєво (ПБ допускає 10 хв., але в холодний час року, через зледеніння ляд і реверсивних пристроїв, ці вимоги можуть бути не виконані);
- передбачати обов'язкове оповіщення людей, що постійно знаходяться в зоні реверсування, про майбутнє реверсуванні вентиляційного струменя (крім оповіщення по телефону, можна обладнати звукову і світлову сигналізацію у всіх виробках, що входять у зону загальношахтного реверсування);
- люди, що знаходяться в зоні реверсування, повинні включитися в саморятувальники до реверсування вентиляційного струменя.

#### 18.2.2 Комбіноване провітрювання шахти.

Цей аварійний режим передбачається в планах ліквідації аварій на шахтах з декількома вентиляторними установками головного провітрювання, що працюють на усмоктування. Він застосовується при пожежі у вентиляторній установці і виникненні погрози виходу вентилятора з ладу. При цьому необхідно

дотримуватися обов'язкової послідовності – спочатку переводяться на реверсивний режим усі вентиляторні установки крім аварійної, і, тільки потім, зупиняється аварійний вентилятор.

### 18.2.3 Зупинка вентиляторів головного провітрювання.

Іноді це режим провітрювання називають "нульовим". У планах ліквідації аварій його застосування не передбачається. Повна зупинка вентиляційного струменя на шахті, після вимикання вентиляторів головного провітрювання (ВГП), практично неможлива, через дію природної тяги. На багатовентиляторних шахтах неможлива і синхронна зупинка відразу усіх ВГП. Після зупинки усіх ВГП можливе перекидання вентиляційного струменя, в окремих виробках, під дією природної тяги. У теплий час року, на шахтах із глибиною стволів до 400 м, можливе перекидання вентиляційного струменя в стволах.

Основні недоліки:

- у гірничих виробках (особливо тупикових) можливе утворення небезпечних скупчень метану;
- можливо мимовільне перекидання вентиляційних струменів у похилих виробках;
- пожежні гази поширюються в обидва боки від вогнища пожежі.

Цей режим провітрювання можна рекомендувати для негазових (з малим виділенням метану) шахт при пожежах у надшахтних будівлях, стволах і виробках, що примикають до них, при наступних умовах:

- шахта провітрюється одним вентилятором;
- напрямок руху повітря, після зупинки ВГП, не змінюється;
- вище вогнища пожежі немає аеродинамічних зв'язків з повітроподавальним стволом;
- немає погрози надходження у вогнище пожежі підвищеної концентрації метану.

### 18.3 Місцеві аварійні вентиляційні режими

Ці аварійні вентиляційні режими призначені для керування провітрюванням окремих виробок чи групи виробок, без зміни режимів роботи вентиляторів головного провітрювання. Найчастіше вони застосовуються в межах окремих виїмкових полів чи дільниць.

#### 18.3.1 Підвищення стійкості провітрювання.

Основу всіх рекомендацій, спрямованих на підвищення стійкості вентиляційного струменя, при пожежі у виробці зі спадним провітрюванням, складають заходи спрямовані на збільшення опору виробки, що відводить повітря від аварійної дільниці. Іншими словами, необхідно збільшувати надходження повітря в аварійні виробки за рахунок установки регуляторів (перемичок, дверей) в інших виробках.

При пожежі у виробці з висхідним провітрюванням, необхідно збільшувати опір аварійної виробки, установлюючи регулятор нижче вогнища пожежі (скорочуючи надходження повітря у вогнище горіння).

На багатьох шахтах при пожежі в похилій виробці зі спадним провітрюванням, як правило, передбачається збільшення опору рівнобіжної похилої виробки зі спадним провітрюванням. Для цих цілей передбачається використання пожежних дверей, встановлених у верхній частині всіх похилих виробок. Необхідно



пам'ятати, що таке підвищення стійкості ефективно для всіх ділянок похилої виробки, тільки в тому випадку, коли в збійках, які зв'язують ці ділянки, установлені якісні вентиляційні споруди (двері, перемички). Ефективність заходів щодо підвищення стійкості провітрювання гірничих виробок необхідно перевіряти не тільки за допомогою ПЕОМ, але, і, безпосередньо, у шахтних умовах.

### 18.3.2 Місцеве реверсування.

Місцеве реверсування – це зміна напрямку руху повітря в окремій виробці чи групі виробок. Цей режим застосовується для відводу пожежних газів з аварійної виробки у вихідний струмінь повітря і запобігання поширення пожежі по виробках, що подають свіже повітря. Можливість здійснення місцевого реверсування заснована на використанні властивостей виробок-діагоналей. У більшості випадків, для цього необхідно збільшити опір виробок “небезпечних по збільшенню опору” чи зменшити опір виробок “небезпечних по зменшенню опору” (можлива і одночасна зміна опору виробок, що належать до обох груп). До “небезпечних по зменшенню опору”, як правило, відносяться виробки з вентиляційними спорудами (двері, шлюзи, перемички), а до “небезпечних по збільшенню опору”, практично, всі інші виробки шахти, провітрювані активним вентиляційним струменем, за винятком тупикових виробок. Для збільшення опору виробки використовують заздалегідь установлені вентиляційні двері, пожежні двері, переносні чи швидкоспоруджувані перемички (вітрильні, парашутні, дощаті і т.п.).

У планах ліквідації аварій місцеве реверсування передбачається досить рідко, через організаційно-технічні складності. В оперативній обстановці місцеве реверсування може використовуватися для забезпечення підходів рятувальників до вогнища пожежі.

### 18.3.3 Закорочування вентиляційного струменя.

Термін “закорочування”, у практиці рудничної вентиляції, означає рух повітря, найкоротшим шляхом, з виробок зі струменем, що надходить, у виробки з вихідним струменем повітря, через відкриті двері шлюзу (в аварійній ситуації, можна і через отвір, пробитий у перемичці). Застосовується з метою скорочення витрати повітря в аварійній виробці чи групі виробок. У виробках, розташованих до місця закорочування (по ходу вентиляційного струменя), витрата повітря може збільшитися, а за цим місцем – зменшитися, аж до повної зупинки вентиляційного струменя (по ходу вентиляційного струменя, за місцем закорочування). У деяких випадках можливе перекидання вентиляційного струменя.

### 18.3.4 Рециркуляція пожежних газів.

Це спеціальний аварійний вентиляційний режим (спосіб гасіння пожежі), що забезпечує зниження температури у вогнищі пожежі і припинення горіння, за рахунок циркуляції продуктів горіння у вогнищі пожежі. Для організації рециркуляції необхідно виділити і ізолювати від іншої частини шахти простий вентиляційний контур, що включає аварійні виробки. Аварійні виробки повинні бути похилі, чи нагріті продукти горіння з горизонтальної виробки повинні відразу надходити в похилу. Рух пожежних газів в ізолюваному контурі здійснюється за рахунок дії теплової депресії пожежі. Можливі варіанти рециркуляції, коли частина

контуру, що складається з гірничих виробок, замінюється металевими трубами, а для охолодження пожежних газів у трубопроводі використовується вода. Для підвищення ефективності рециркуляції в цю частину вентиляційного контуру можна включати вентилятор місцевого провітрювання. Цей спосіб вентиляції аварійної ділянки можна назвати примусовою рециркуляцією.

#### 18.3.5 Багаторазове реверсування вентиляційного струменя.

Спеціальний аварійний вентиляційний режим (спосіб гасіння пожежі), що забезпечує зниження температури у вогнищі і припинення горіння, за рахунок багаторазового повернення продуктів горіння у вогнище пожежі. Здійснюється за допомогою вентилятора (-ів) місцевого провітрювання, що працює через перемичку. Періодичне включення ВМП повинне забезпечувати перекидання вентиляційного струменя в аварійній виробці (ділянці) і повернення продуктів горіння у вогнище пожежі.

## 19. ВЕНТИЛЯЦІЙНА СЛУЖБА ШАХТ

### 19.1 Загальні положення

Стан вентиляції шахт вимагає постійного, систематичного контролю, тому що на шахті, протягом робочої зміни чи доби, можливі різні зміни, зв'язані з закладанням нових виробок, погашенням старих, зведенням чи ліквідацією вентиляційних споруджень і пристроїв і т.д. Крім того, з часом, змінюються геометричні розміри гірничих виробок – частина з них зменшується, а частина збільшується, наприклад, після переукріплення. Слід також, враховувати, можливі зміни газового режиму і місць виділення шкідливостей у шахті.

Контроль вентиляції шахт, в основному, здійснюють фахівці спеціальної служби – ділянки вентиляції і техніки безпеки (ВТБ). Вони готують вентиляційний план шахти (схему вентиляції) і проводять його оперативне коректування, з урахуванням змін у шахтній вентиляційній мережі. Усі зміни в розташуванні вентиляційних пристроїв і споруджень, ВМП, напрямку руху повітря і знову закладені виробки повинні відзначатися на схемі вентиляції в плинні доби.

За Правилами безпеки систематичному контролю підлягають наступні параметри вентиляційних струменів:

- витрата повітря і швидкість його руху в гірничих виробках;
- концентрація кисню, окису вуглецю і вуглекислого газу в гірничих виробках, з урахуванням особливостей їхнього прояву, в умовах конкретної шахти;
- концентрація водню в зарядних камерах;
- температура повітря;
- відносна вологість (при температурі повітря  $> 20^{\circ}\text{C}$ ).

Крім того, у шахтах передбачається контроль депресії гірничих виробок і тиску в них, параметрів вентиляторів головного і місцевого провітрювання, вентиляційних споруджень.

## 19.2 Контроль витрати і швидкості руху повітря

Для виміру швидкості повітря в гірничих виробках застосовуються крильчасті (АСО-3) і чашкові (МС-13) анемометри. В останні роки, поширення одержали цифрові анемометри АПР-2.

Для виміру швидкості повітря на головних вхідних і вихідних струменях шахти повинні бути обладнані замірні станції. Вимір швидкості повітря повинний проводитися на прямолінійних не захарашених дільницях виробки з постійним, поблизу точки виміру, поперечним перерізом. При цьому бажано, щоб точка виміру розташовувалася не ближче  $12b$  ( $b$  – ширина виробки, м) від початку виробки (по ходу вентиляційного струменя) чи  $5b$  – до кінця виробки (рис. 34). Це означає, що в короткій виробці (дільниця 1-2), при вимірі швидкості повітря можлива велика погрішність. Для такої виробки, витрату повітря необхідно визначати по результатах вимірів у виробках, що примикають до неї. Так, наприклад, якщо для виробки 1-2 не виконується умова ( $L \geq 17b$ , де  $L$  – довжина виробки, м), то виміри швидкості повітря, у точці № 1, будуть виконані з погрішністю. Витрату повітря в ній треба визначати як різницю витрат повітря, обмірюваних у точках № 3 і № 2.

Точність вимірів швидкості повітря забезпечує рівномірний, плавний рух анемометра в перерізі виробки. Крім цього, бажано, щоб під час виміру, на відстані 20 м, в обидва боки від того, хто заміряє, не робилися ніякі роботи, зв'язані з переміщенням вантажів і людей, та зміною опорів вентиляційних споруджень. Вимір швидкості повітря робляться не менше двох разів поспіль. Якщо показання анемометра відрізняються більш ніж на 10 %, то роблять третій вимір, а швидкість повітря визначають як середнє арифметичне, за результатами трьох вимірів.

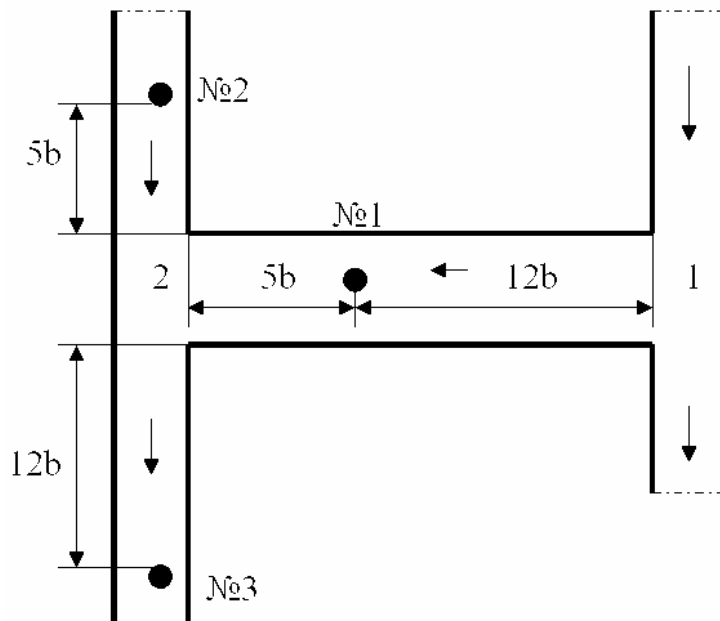


Рис. 34 – Схема виміру швидкості повітря у виробках

Площа поперечного перерізу виробки (рис. 35) визначається по формулах: для трапецієподібної форми поперечного перерізу (рис. 35а)

$$S = 0,5 H (a+b);$$

для склепистої форми поперечного перерізу (рис. 35б)

$$S = \frac{\pi b^2}{8} + b \left( H - \frac{b}{2} \right);$$

для аркової форми поперечного перерізу (рис. 35в)

$$S = \frac{\pi a^2}{8} + \frac{a+b}{2} \left( H - \frac{a}{2} \right).$$

При деформованому кріпленні, переріз виробки розбивається на ряд простих фігур і загальну площу визначають, як суму площ цих фігур (рис. 35г).

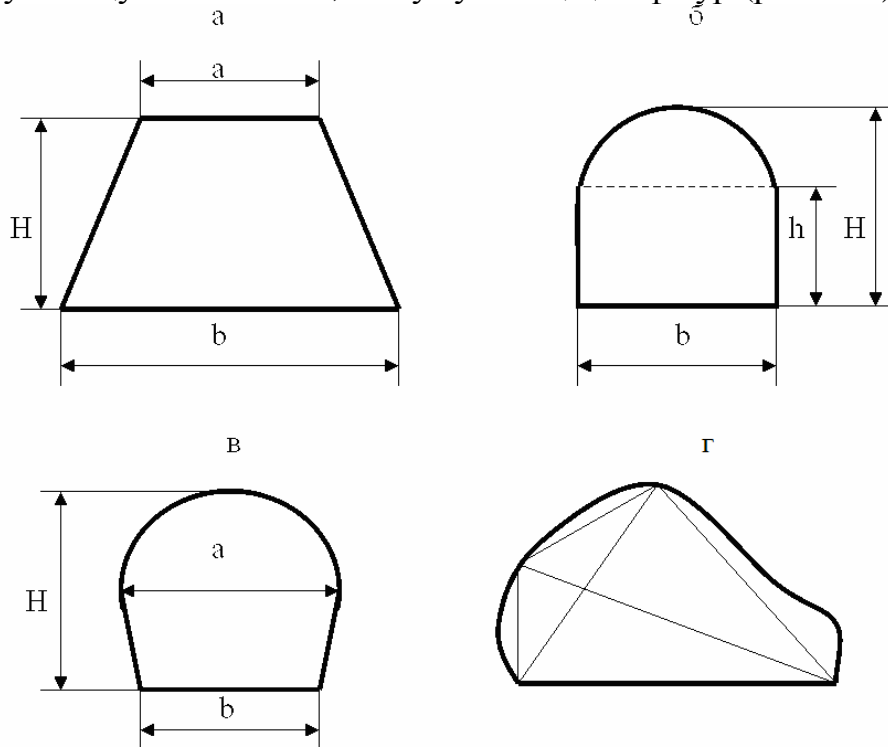


Рис. 35 – Схеми поперечних перерізів гірничих виробок

Вимір швидкості повітря (> 1 м/с) можна, також, робити за допомогою U-подібного манометра чи мікроманометра і трубки Піто. З'єднавши трубку Піто з манометром чи мікроманометром (за допомогою гумових трубок), можна виміряти швидкісний тиск у виробці чи трубопроводі. Тоді швидкість повітря розраховується по формулі

$$V = \sqrt{\frac{2h_{ск}}{\rho}},$$

де  $h_{ск}$  – швидкісний тиск, Па;  
 $\rho$  – щільність повітря, кг/м<sup>3</sup>.

### 19.3 Вимір температури, вологості і тиску повітря

Вимір температури повітря виконують ртутними термометрами з ціною поділки не більш 0,2°C. Відносну вологість повітря (відношення маси водяної пари у вологому повітрі, до маси водяної пари при повному насиченні ними повітря) визначають за допомогою психрометра. Контроль тиску повітря здійснюють за допомогою барометрів-анероїдів і барографів. Вимір депресії (різниці тисків) роблять за допомогою мікроманометра типу ММН. Мікроманометр забезпечує вимір депресії в діапазоні до 250 даПа.

### 19.4 Депресійні зйомки

Депресійна зйомка – це комплекс робіт, що виконуються для визначення розподілу депресії і витрат повітря в шахтній вентиляційній мережі, аеродинамічних

опорів гірничих виробок і вентиляційних споруд, величини теплових джерел тяги. Термін “депресійна зйомка” не цілком відображає види вимірів, які проводяться у гірничих виробках, тому що, крім депресії, вимірюються і інші параметри (швидкість повітря, температура і т.д.). Більш точним є назва «повітряно-депресійна зйомка», тому що основна частина вимірів зв'язана з визначенням витрат повітря і депресії виробок. Планові депресійні зйомки проводяться на шахті підрозділами ДВГРС, один раз у три роки. Повна депресійна зйомка проводиться для всієї шахти, а часткова – для окремої групи виробок. Депресійна зйомка в окремій виробці складається з одночасних вимірів депресії і швидкості повітря.

Для визначення депресії виробок використовують наступні методи:

- безпосередній вимір депресії за допомогою мікроманометра і гумової трубки;
- обчислення депресії по обмірюваних абсолютних тисках.

Перший метод досить трудомісткий. У цьому випадку, необхідно, між двома пунктами в шахті, прокласти гумову трубку і, приєднавши один з її кінців до мікроманометра, визначити показання мікроманометра. Для цього, найчастіше, використовують трубки довжиною 100-200 м, тому, в довгих виробках, гумову трубку необхідно кілька разів прокладати і змотувати. Другий метод заснований на використанні мікробарометрів. Рухаючись по маршруту, послідовно виміряють величину абсолютного тиску в окремих пунктах (наприклад в сполученнях). За різницею тисків, між початком і кінцем виробки (центри сполук, де повітря заходить у виробку або виходить з неї) обчислюється величина депресії виробки. Достоїнства: менша трудомісткість і можливість виміру депресії непрохідних виробок. Недолік – велика погрішність вимірів, через погрішність приладів чи пульсацій тиску. Різновидом цього методу є метод одночасних відліків, коли виміри тиску роблять одночасно декілька чоловік, у декількох пунктах, через узгоджені проміжки часу.

## 20. ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ РЕГУЛЮВАННЯ ПОВІТРОРозПОДІЛЕННЯ

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

Рівняння приведеної характеристики має вигляд

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

де  $A$  і  $b$  – коефіцієнти приведеної характеристики мережі (частини мережі).

Фізичний сенс параметра  $A$  – максимально можлива депресія гілки (частини мережі). Інакше кажучи, це депресія виробки, яка має нескінченно великий опір. Тобто, це виробка, в якій установлена абсолютно щільна перемичка і витрата повітря дорівнює нулю.

Режим провітрювання кожної гілки визначають координати точки пересікання приведеної характеристики і характеристики опору. У паралельному з'єднанні (рис. 36) це координати точок «e» і «d». Режим провітрювання паралельного з'єднання визначають координати точки «с».

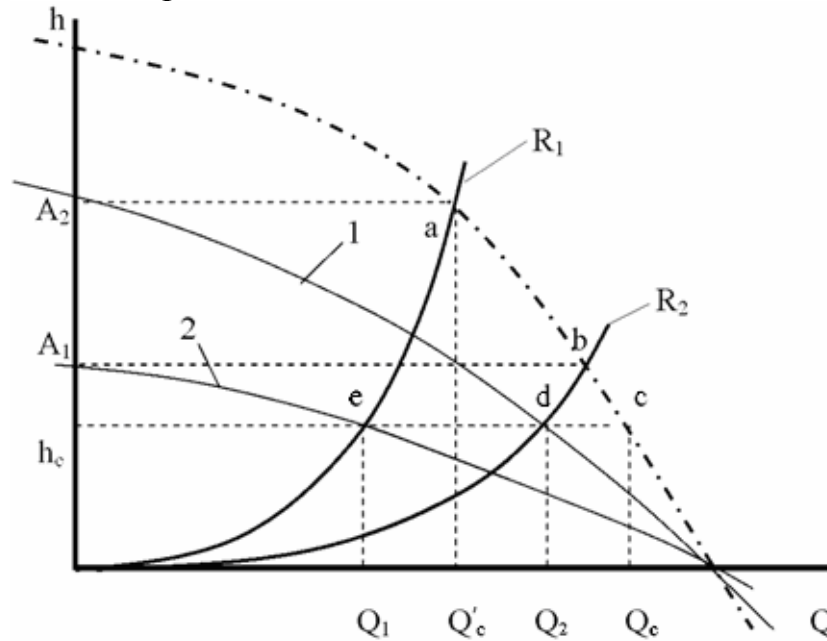


Рис. 36 – Формування режиму провітрювання паралельного з'єднання

Різниця абсцис точок «e» і «a» для гілки  $R_1$  показує теоретичні межі негативного регулювання за рахунок підвищення опору гілки  $R_1$  до нескінченності, а різниця абсцис точок «c» і «a» – теоретичну величину зменшення витрати повітря у паралельному з'єднанні при збільшенні опору гілки  $R_2$  до нескінченності.

Параметри приведеної характеристики можна визначити експериментально за допомогою легкої перемички (з брезенту чи з поліетиленової плівки).

Спочатку визначають нормальний режим провітрювання виробки (рис. 37, 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 кривою. Параметр  $b$  для параболы визначається за допомогою формули

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

Параметр  $A$  визначають використовуючи формулу

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

Депресію гілки з регулятором визначає формула

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

де  $h_p$  – депресія регулятора.

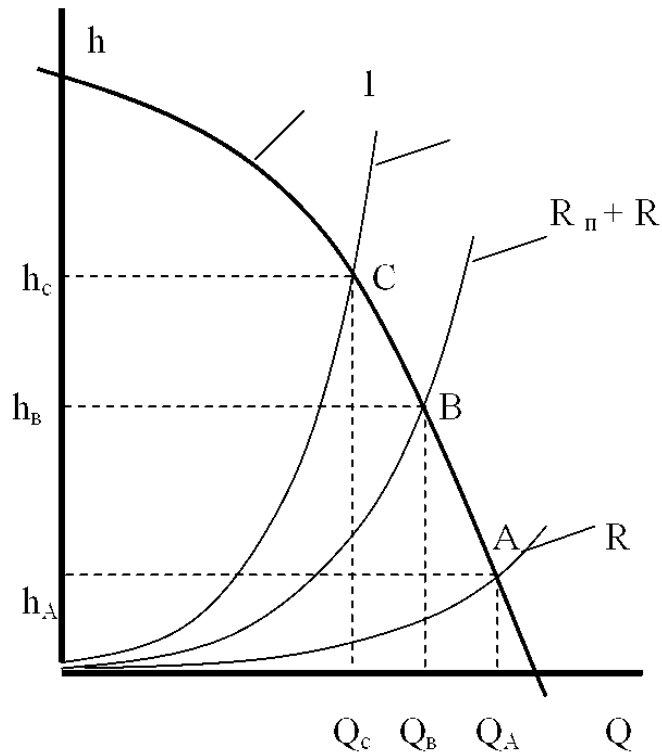


Рис. 37 – Визначення параметрів приведеної характеристики

Потрібний (необхідний) опір регулятора (приведена характеристика має вигляд параболі) 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 категорії та вище перекриття перерізу виробки, яке може призвести до зменшення витрати повітря у підготовчих чи виїмкових вибоях, неприпустимо. У цих випадках необхідно використовувати комп'ютерну модель шахтної вентиляційної мережі.

## 21. ФІЗИЧНІ І АЕРОДИНАМІЧНІ КОРДОНИ ГІРНИЧОЇ ВИРОБКИ

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

Сполука – це місце з'єднання (перетину) декількох гірничих виробок (рис. 38). Наприклад, простір сполучення 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 сполучення.

Місце пересікання гірничих виробок чи сполучення 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 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 м, починаючи від поверхні землі.

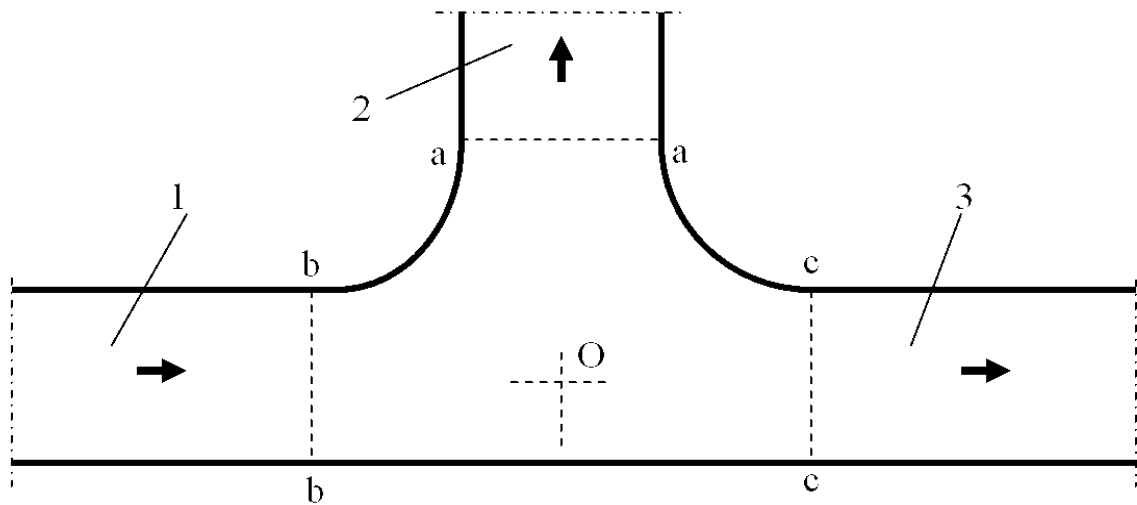


Рис. 38 – Місце з'єднання (сполучення) трьох виробок чи частин виробок

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 витрати тиску (депресії) на рух повітря в сполученнях.

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 сполученнями. Тобто, це місця де закінчується закруглення найближчих сполук (рис. 38, 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 сполученнях розглядаються не як окремі частини, а поєднуються з втратами тиску в гірничих виробках. У цьому випадку, точка перетину осей виробок у сполученні (рис. 38, точка O) 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 тисків повітря між точками перетину осей виробок у сполученнях. Відповідно такому уявленню про вентиляційну мережу, виміри депресії виробок необхідно робити між точками, де вимірюється аеродинамічна (рис. 39, 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 діляниць виробок). Тільки при такому вимірюванні депресії виробок можна казати про виконання другого закону мережі. Тільки тоді, відповідно до схеми на рис. 39, 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 ( $L_{\phi}$ )* – відстань між початковим і кінцевим перерізом чи уявними лініями в місцях сполучень, де закінчуються їх закруглення.

*Аеродинамічна довжина гірничої виробки ( $L_a$ )* – відстань між точками перетину осей гірничих виробок чи їх частин у двох найближчих сполученнях.

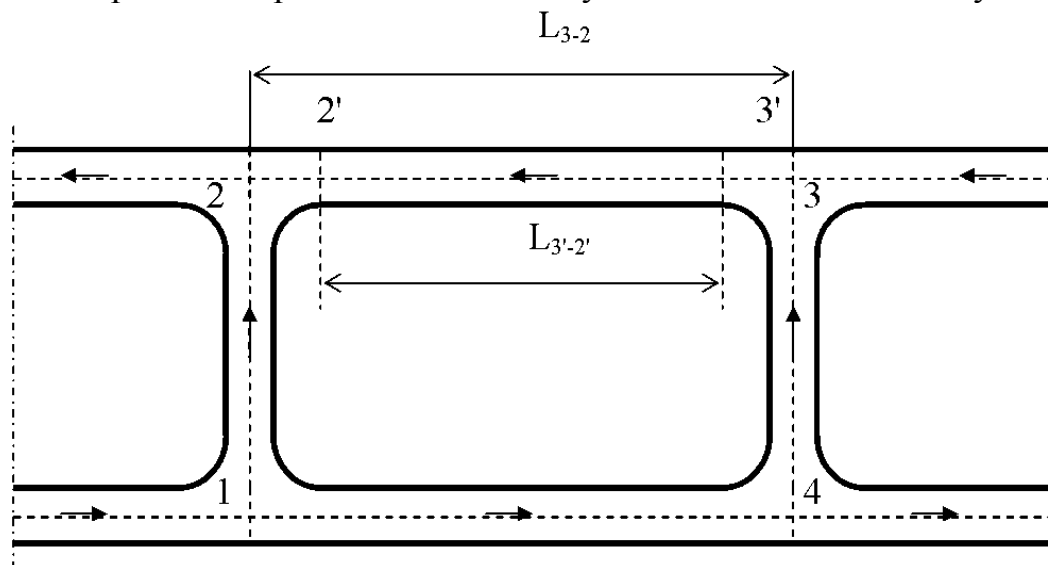


Рис. 39 – Схема сполучення гірничих виробок у вентиляційному контурі

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 сполучення, і повітря входить у гірничу виробку.

Фізичний кінець гірничої виробки – уявна лінія чи переріз, у місці де, починається закруглення сполучення, і повітря виходить із гірничої виробки.

З точки зору аеродинаміки «початок» виробки – це точка перетину осей виробок у сполученні, де повітря входить у гірничу виробку, а «кінець» – точка перетину осей виробок у тому сполученні, де повітря виходить з тієї ж виробки.

Вищенаведене дозволяє сформулювати уточнення чи умову виконання другого закону мережі: другий закон мережі виконується тільки в тому випадку, якщо втрати тиску в сполученнях гірничих виробок враховані у депресії гілок-виробок.

## 22. ОСОБЛИВОСТІ ЗМІН АЕРОДИНАМІЧНОГО ОПОРУ ВИРОБОК

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 тимчасова. Перша пов'язана з зменшенням перерізу виробки під тиском вмщувальних порід, а тимчасова – із організаційно-технологічними факторами.

Поступова квазістаціонарність, як правило, торкається 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. Тимчасова 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). У зв'язку з вищенаведеним, 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 дільниці відбувається «стовпами» (без додаткових виробок зі «свіжим» повітрям), то опір виїмкової дільниці увесь час зменшується (при майже «незмінному» опорі лави), а об'єм повітря у лаві підвищується. Ці зміни можна визначити (у залежності від співвідношення опору лави і сумарного опору дільничних штреків) у проміжках часу від 5 до 15 діб. У випадку «прямого ходу» лави, загальний опір дільниці підвищується увесь час, доки лава працює. При наявності додаткової вентиляційної виробки (схеми з «прямоструминним провітрюванням» і зворотнім порядком відпрацювання підготовленого стовпа) опір руху повітря з часом також підвищується.

## **23. ЗАСАДИ МОДЕЛЮВАННЯ ШАХТНОЇ ВЕНТИЛЯЦІЙНОЇ МЕРЕЖІ**

### **23.1 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 схеми вентиляції виконується при підготовці шахти до депресійної зйомки. При цьому кожному вузлу-сполученню 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, теплова депресія пожежі).

Після кодування схеми вентиляції, необхідно нанести на неї координатну сітку. За початок координат приймається точка в лівому верхньому кутку 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 і 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.

### 23.2 Моделювання основних елементів вентиляційної мережі

*Гірничі виробки і сполучення.* Сукупність гірничих виробок, їх сполучень 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». Воно означає символічне зображення гірничої виробки у вигляді гілки на екрані монітора, та у віртуальній моделі шахтної вентиляційної мережі.

Окремою гілкою-виробкою на комп'ютерній схемі вентиляції вважається простір, який розташований між двома найближчими сполученнями і двома лініями, які обмежують кордони виробки по боках. Комп'ютерне зображення гірничої виробки містить: зображення сполучень гірничої виробки з іншими виробками чи «вихід» гірничої виробки на поверхню землі. Ці місця на екрані монітора, виглядають як невеличкі кола (вузли). Зображення гілки на екрані монітора має вигляд одинарної або подвійної лінії між двома вузлами-сполученнями (рис.40). Необхідно, щоб під час «малювання» виробки на екрані монітора кожна виробка чи вузол отримували ті ж номери, що і на папері.

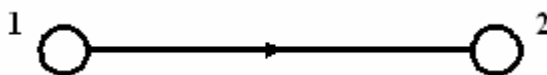


Рис. 40 – Зображення гілки вентиляційної мережі між двома вузлами

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

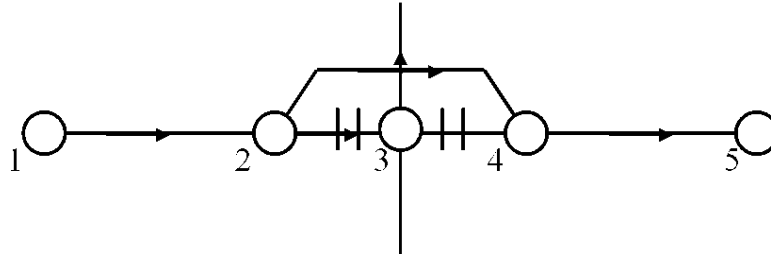


Рис. 41 – Схема моделювання кросингу (обхідної виробки)

*Зовнішні і внутрішні витокі 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-витокі зображають тільки у вигляді штрихової лінії (рис. 42).



Рис. 42 – Зображення гілки вентиляційної мережі, яка моделює (відображає) виток повітря через вироблений простір

Гілки-витокі не містять інформації 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. 43) додається символ вентиляційної споруди

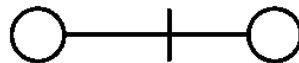


Рис. 43 – Зображення гілки вентиляційної мережі з вентиляційною спорудою

Рух повітря з поверхні землі до каналу вентилятора через різні нещільності й 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 «виток повітря».

Гілка, що моделює зовнішній виток-підсмоктування, завжди має один вузол, який моделює поверхню землі (рис. 44). Усі шляхи руху зовнішніх витоків-підсмоктувань повітря, пов'язані з однією вентиляторною установкою (3-4), спрощено можна уявити у вигляді однієї гілки 1-2. Ця гілка являє собою всі

зовнішні виток-підсмоктування. Вона «зв'язує» поверхню землі і початковий вузол гілки, яка моделює канал вентилятора (2-3).

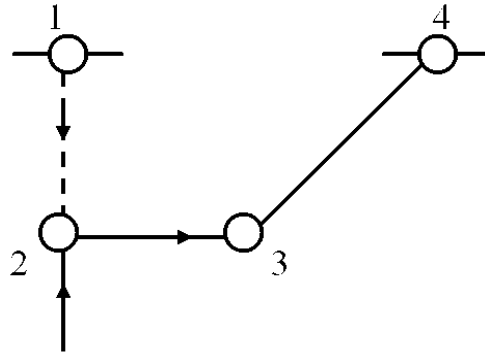


Рис. 44 – Спрощена схема моделювання шляхів зовнішніх витоків-підсмоктувань повітря

Внутрішні виток-підсмоктування повітря можна поділити на дві групи: виток через вентиляційні споруди в гірничих виробках (див. вище) і виток через вироблений простір. Виток через вироблений простір також поділяються на дві групи: місцеві і розосереджені. Місцеві пов'язані з якимось конкретним місцем, наприклад, місцем сполучення діючої виробки з виробкою, яка «погашена». Розосереджені виток повітря – це виток 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 виток-підсмоктування повітря уздовж якої-небудь ділянки виробки. Наприклад, фіктивний опір гілки, яка моделює виток повітря через вироблений простір за лавою (рис. 45) можна порахувати за допомогою формули

$$R_{в.л.} = h_l / \Sigma Q_y^2,$$

де  $h_l$  – депресія лави;

$\Sigma Q_y$  – сума витоків повітря із транспортного штреку на вентиляційний.

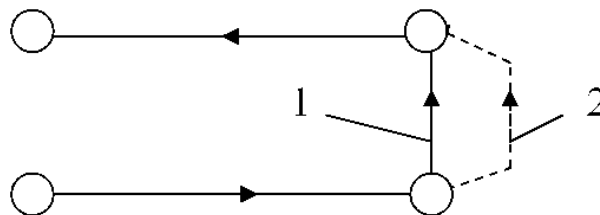


Рис. 45 – Схема моделювання виїмкової ділянки:  
1 – гілка-лава; 2 – гілка-виток

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. 46. На рис. 46а наведена схема провітрювання тупикової виробки, а на рис. 46б – схема моделювання місцевої вентиляції.

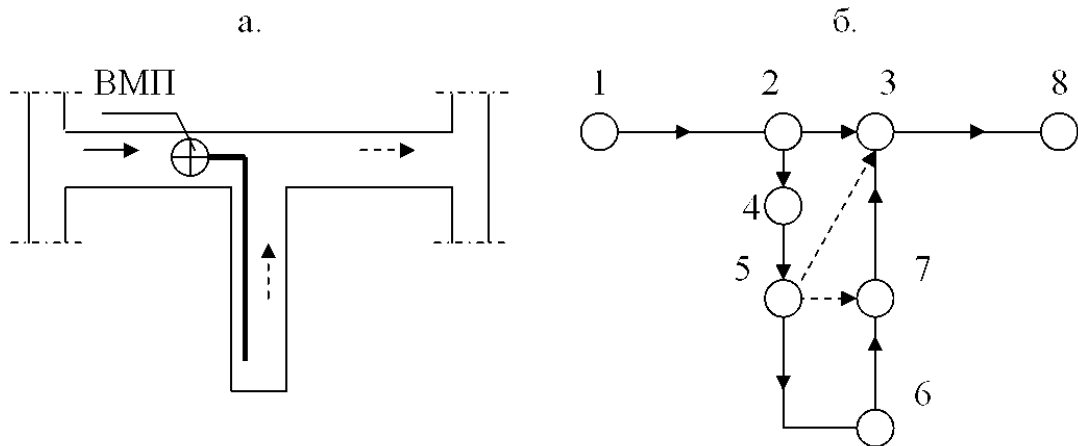


Рис. 46 – Схема вентиляції і моделювання тупикової виробки

На рис. 46б гілка 1-2 моделює дільницю виробки від початку (по ходу вентиляційного потоку) до місця, де стоїть ВМП. Гілка 2-3 – частина виробки від місця установки ВМП до сполучення 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 (дільниця 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 дільниці 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 дільниці від ВМП до початку тупикової виробки.

*Моделювання вентилятора.* Вентилятор головного провітрювання (або ВГП) моделюється окремою гілкою. Характеристику вентилятора в більшості випадків описує формула

$$h = A_b - b_b Q^2,$$

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

$A_b$ ,  $b_b$  – коефіцієнти характеристики вентилятора (розраховуються по графіку характеристики).

*Природна тяга.* Природну тягу моделюють 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. 47) з природною тягою: стволи ( $h_{ec}$ ), похилі виробки виїмкових полів ( $h_{en}$ ) і виїмкові дільниці ( $h_{ed}$ ). Природна тяга розраховується по результатах температурної зйомки за допомогою термодинамічного методу.

У комп'ютерній моделі «IRS Вентиляція шахт-ЕПЛА» 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).

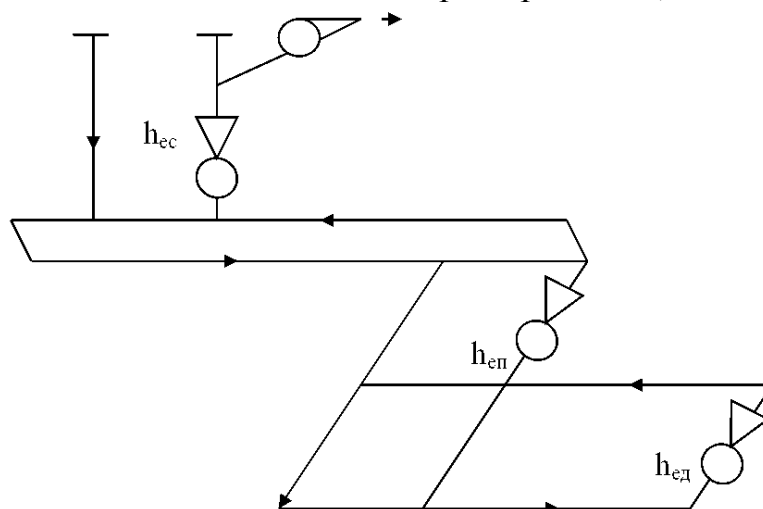


Рис. 47 – Спрощена схема шахти з природною тягою у трьох вентиляційних контурах

### 23.3 Визначення опорів гілок-виробок за допомогою комп'ютерної моделі ШВМ

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.

Оптимальний об'єм 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.

Депресію вимірюють у виробках, де складно (або неможливо) виміряти витрату повітря (витоки повітря через зачинені вентиляційні двері, перемички, вироблений простір), а за допомогою витрат повітря визначають опір тих виробок, де складно виміряти депресію (довгі виробки). 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 пораховані 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 вимірних депресії або 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.

Об'єм 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 і витрати повітря у нових виробках.

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

#### 23.4 Моделювання розподілу повітря

Важливим етапом підготовки моделі ШВМ до використання, є моделювання «нормального» варіанту розподілу повітря в шахті. Назва «нормальний» 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 ШВМ 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. У цей час необхідно 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 різниця 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 різних задач вентиляції за допомогою комп'ютерної моделі ШВМ, слід враховувати, що наслідки впливу окремих чинників на розподіл повітря в реальних умовах будуть меншими, ніж результати, що отримані за допомогою моделі.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Аерологія шахтних вентиляційних мереж: Монографія / В.О. Трофимов, Ю.Ф. Булгаков, О.Л. Кавера, М.В. Харьковий. – Донецьк: Норд-Прес, 2009. – 88 с.
2. Ушаков К.З. и др. Аэрология горных предприятий. – М.: Недра. – 1987. – 421 С.
3. Правила безпеки у вугільних шахтах. – Київ. – 2010. – 430 С.
4. Руководство по проектированию вентиляции угольных шахт. – Киев: Основа. – 1994. – 311 С.
5. Болбат И.Е., Лебедев В.И., Трофимов В.А. Аварийные вентиляционные режимы в угольных шахтах. – М.: Недра. – 1992. – 206 С.
6. Кордони гірничої виробки / В.О.Трофимов, Ю.Ф.Булгаков, О.Л.Кавера, М.В.Харьковий – ДонНТУ: Вісті Донецького гірничого інституту №1 – 2009
7. Трофимов В.О., Кавера О.Л., Принцева О.А., Каплун А.Ю. Комп'ютерне моделювання елементів вентиляційної мережі // Вісті Донецького гірничого інституту, № 1, т. 2 – 2013
8. Трофимов В.О. Властивості шахтної вентиляційної мережі / В.О. Трофимов, О.Л. Кавера, М.В. Харьковий – ДонНТУ: Вісті Донецького гірничого інституту №1 – 2009
9. Визначення режиму провітрювання гірничої виробки / В.О.Трофимов, Булгаков Ю.Ф., О.Л.Кавєра, М.В.Харьковий – Уголь Украины, №5 – 2009
10. Взаємовплив вентиляторів головного провітрювання / Трофимов В.О., Булгаков Ю.Ф., Харьковий М.В., Кавера О.Л. // Уголь Украины, №4, – 2010. – С. 33-35

В.А. Трофимов, А.Л. Кавера

**АЭРОЛОГИЯ И КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ  
ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ СЕТЕЙ**

КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

Направление подготовки: 6.050503 «Машиностроение»,  
6.050301 «Горное дело»

## СОДЕРЖАНИЕ:

1. Шахтный воздух.....	85
2. Метан .....	88
3. Основные законы, понятия и определения рудничной аэрологии .....	92
4. Аэродинамическое сопротивление горных выработок.....	94
5. Шахтные вентиляционные сети .....	97
6. Естественная тяга .....	100
7. Работа вентиляторов на шахтную вентиляционную сеть .....	105
8. Регулирование расходов воздуха в горных выработках .....	107
9. Вентиляционные установки и сооружения.....	110
10. Утечки воздуха .....	113
11. Пылевой режим шахт.....	115
12. Проветривание выемочных участков.....	119
13. Проветривание подготовительных выработок .....	121
14. Способы проветривания и схемы вентиляции шахт .....	126
15. Проектирование вентиляции шахт .....	130
16. Тепловой режим шахт .....	136
17. Устойчивость проветривания горных выработок .....	139
18. Аварийные вентиляционные режимы на угольных шахтах .....	142
19. Вентиляционная служба шахт .....	148
20. Теоретические основы регулирования воздухораспределения .....	151
21. Физические и аэродинамические границы горной выработки .....	153
22. Особенности изменений аэродинамического сопротивления выработок .....	155
23. Основы моделирования шахтной вентиляционной сети .....	156
Список литературы .....	164

# 1. ШАХТНЫЙ ВОЗДУХ

## 1.1 Атмосферный воздух

Атмосферный воздух – это газообразная оболочка, окружающая земную поверхность и состоящая из смеси газов и паров. Его состав, в результате высокой турбулизации, постоянный над поверхностью земли до высоты 20 км. Резкие колебания состава воздуха, как правило, связаны с разным характером поверхности земли и деятельностью людей. В последние десятилетия состав атмосферы претерпевает постоянные изменения, вызванные деятельностью человеческой цивилизации. Повышается содержание углекислого газа и фреона. Первый, по мнению ученых, способствует возникновению парникового эффекта, а второй – озоновых дыр.

Средний состав атмосферного воздуха на уровне моря (в процентах от объема) включает азот (78,08 %), кислород (20,95 %), аргон (0,93 %), углекислый газ (0,03 %) и группу разных газов, включая инертные (0,01 %).

Содержание пыли в атмосфере повышено над материками, но иногда потоки воздуха заносят пыль в часть атмосферы над морями и океанами.

## 1.2 Воздух в горных выработках

Атмосферный воздух, который поступил в горные выработки и заполнил их, в процессе своего движения, называется рудничным или шахтным воздухом. Наиболее существенные изменения воздуха происходят в выработках очистных и подготовительных участков. Поэтому, условно, шахтный воздух, который заполняет горные выработки до очистных забоев и подготовительных выработок, называется свежим, а воздух, который заполняет выработки за забоями (за лавами и тупиковой частью подготовительных выработок), – отработанным. В соответствии с этим делением, струя воздуха, который движется от поверхности к забоям, называется, поступающей (свежей), а от забоев к поверхности земли – исходящей. Атмосферный воздух, попадая в горные выработки, изменяет свои физические параметры, химический состав и загрязняется разными примесями. Давление воздуха увеличивается с увеличением глубины залегания горных выработок. Работа вентиляторов главного проветривания незначительно влияет на давление. При всасывающем способе проветривания шахты, оно немного уменьшается, а при нагнетательном – увеличивается. Главная особенность теплового состояния рудничного воздуха, в сравнении с атмосферным, заключается в уменьшении суточных и сезонных колебаний температуры, а также, в повышении температуры, в сравнении со среднегодовой температурой воздуха на поверхности земли. Например, в рудниках ЮАР, температура воздуха достигает 60°C, на глубине до 5 км. Повышение влажности воздуха происходит за счет поступления в выработки подземных вод и может составлять от 60 до 100 %. Состав воздуха, при движении по горным выработкам, постоянно изменяется. Уменьшается содержание кислорода, увеличивается содержание углекислого газа и азота, появляется ряд газов, которые не содержатся в рудничной атмосфере. Содержание газов в воздухе характеризуется их концентрацией – отношением количества данного газа (в объемной или весовой единицах) ко всему количеству газовой смеси. Чаще всего используется объемная концентрация, выраженная в процентах.

### 1.3 Состав рудничного воздуха

В состав рудничного воздуха (как и атмосферного) входят кислород, углекислый газ и азот. Кроме этого в рудничном воздухе могут быть взрывчатые, ядовитые, радиоактивные, инертные газы и пары.

**Кислород (O<sub>2</sub>)** – газ без цвета, вкуса и запаха. Его плотность равняется (относительно плотности воздуха) 1,11 при температуре 0°С и давлении 760 мм рт. ст.

В соответствии с Правилами безопасности, содержание кислорода в рудничном воздухе должно быть не менее 20 %. Содержание кислорода в горных выработках уменьшается в результате его участия в окислительных процессах и замещения разными газами, которые выделяются из угля и горных пород (метан, углекислый газ и др.). К окислительным процессам, которые поглощают кислород, в первую очередь, относится окисление полезных ископаемых. Кроме того, уменьшение содержания кислорода происходит в результате взрывных и сварочных работ, работы двигателей внутреннего сгорания, также при рудничных пожарах, взрывах метана и угольной пыли. При снижении концентрации кислорода приблизительно до 17 % наступают одышка и повышено сердцебиение, а при 12 % атмосфера становится смертельно опасной.

**Углекислый газ (CO<sub>2</sub>)** – газ без цвета, со слабо кислым запахом. Плотность – 1,52. Химически инертный, не горит и не поддерживает горение.

Различают три вида выделения углекислого газа в горные выработки: обычное, суфлярное и внезапное. При обычном выделении CO<sub>2</sub> поступает в рудничную атмосферу непосредственно с обнаженной поверхности угольного или породного массива, образуется при измельчении горной массы. При суфлярном выделении газ интенсивно поступает в выработки через большие трещины в горном массиве. Дебит суфляров, впоследствии, уменьшается. В Донецком угольном бассейне относительная углекислотность шахт не превышает 15 м<sup>3</sup>/т.

Угольные шахты по выделению углекислого газа разделяются на 4 категории: I – до 5 м<sup>3</sup>/т, II – от 5 до 10 м<sup>3</sup>/т, III – от 10 до 15 м<sup>3</sup>/т и сверхкатегорная – более 15 м<sup>3</sup>/т. Это распределение используется при расчете количества воздуха для проветривания шахт.

Максимальные допустимые концентрации CO<sub>2</sub> в шахтах и рудниках:

- рабочие места и общие исходные струи участков: 0,5 %;
- общая исходящая крыла, шахты: 0,75 %;
- проведение и восстановление выработок по завалу: 1 %.

**Азот (N<sub>2</sub>)** – газ без цвета, вкуса и запаха. Плотность – 0,97. Химически инертный. В рудничный воздух поступает из угля и пород. Кроме того, N<sub>2</sub> образуется при взрывных работах и гниении органических веществ. Содержание азота в рудничном воздухе не нормируется.

### 1.4 Опасные примеси в рудничном воздухе

К ядовитым примесям рудничного воздуха относятся окислы углерода, окислы азота, серистый газ и сероводород.

**Оксид углерода (CO)** – газ без цвета, вкуса и запаха, с плотностью 0,97. Горит и взрывается при концентрации от 12,5 до 75 %. Температура воспламенения, при концентрации 30 % – 630-810°С. Очень ядовитый. Смертельная концентрация –

0,4 %. Допустимая концентрация в горных выработках – 0,0017 %. Основная помощь при отравлении – искусственное дыхание в выработке со свежим воздухом.

Источниками оксида углерода являются: взрывные работы, работы двигателей внутреннего сгорания, рудничные пожары, взрывы метана и угольной пыли.

**Сероводород ( $H_2S$ )** – газ без цвета, со сладковатым вкусом и запахом тухлых яиц. Плотность – 1,19. Сероводород горит, а при концентрации 6 % взрывается. Очень ядовитый, раздражает слизистые оболочки дыхательных путей и глаз. Смертельная концентрация – 0,1 %. Первая помощь при отравлении – искусственное дыхание на свежей струе, вдыхание хлора (с помощью платка, смоченного хлорной известью).

Сероводород выделяется из горных пород и минеральных источников. Образуется при гниении органических веществ, рудничных пожарах и взрывных работах.

Сероводород хорошо растворяется в воде. Это необходимо учитывать при передвижении людей по заброшенным выработкам. Допустимое содержание  $H_2S$  в рудничном воздухе не должно превышать 0,00071 %.

**Сернистый газ ( $SO_2$ )** – газ без цвета, с сильным раздражающим запахом и кислым вкусом. Тяжелее воздуха в 2,3 раза. Очень ядовитый, раздражает слизистые оболочки дыхательных путей и глаз, вызывает воспаление бронхов, отек гортани и бронхов. Сернистый газ образуется при взрывных работах (в сернистых породах), пожарах, выделяется из горных пород. Допустимое содержание в рудничном воздухе – 0,00038 %. Концентрация 0,05 % опасная для жизни.

**Оксиды азота ( $NO$ ,  $NO_2$ )** – имеют бурый цвет и характерный резкий запах. Очень ядовитые, вызывают раздражение слизистых оболочек дыхательных путей и глаз, отек легких. Смертельная концентрация, при кратковременном вдыхании – 0,025 %. Предельное содержание окислов азота в рудничном воздухе не должно превышать 0,00025 % (в перечислении на двуокись азота  $NO_2$ ).

**Аммиак ( $NH_3$ )** – газ без цвета, с резким раздражающим запахом. Плотность – 0,596. Хорошо растворимый в воде. Взрывается при концентрации 30 %. Аммиак ядовит, раздражает слизистые оболочки и кожу, а при высоких концентрациях вызывает отек гортани. Образуется  $NH_3$  при разложении азотсодержащих соединений. Выделяется в воздух при взрывных работах, при тушении пожаров. Допустимое содержание в рудничном воздухе – 0,0025 %.

**Акролеин ( $C_3H_4O$ )** – бесцветная, легко испаряющаяся жидкость. Образуется при разложении дизельного топлива под действием высокой температуры. Хорошо растворим в воде, в атмосфере может присутствовать в виде пара.

Акролеин очень ядовит, раздражает слизистые оболочки, вызывает головокружение, тошноту, боли, в желудке, рвоту. Максимально допустимая концентрация в воздухе – 0,00008 %.

**Водород ( $H_2$ )** – газ без цвета, с плотностью – 0,07. Горит и взрывается при концентрации от 4 до 74 %. Выделяется в рудничный воздух из пород и угля, а также образуется в шахтах при зарядке аккумуляторных батарей.

Шахты (рудники) опасные по выделению водорода разделяются на четыре категории, по количества горючих газов ( $CH_4 + H_2$ ), которые выделяются на 1 м<sup>3</sup> суточной добычи горной массы: I – до 7 м<sup>3</sup>, II – от 7 до 14 м<sup>3</sup>, III – от 14 до 21 м<sup>3</sup> и свыше 21 м<sup>3</sup>. При этом принимается, что 1 м<sup>3</sup> водорода эквивалентен 2 м<sup>3</sup> метана.

Максимально допустимая концентрация водорода в воздухе 0,5 %.

**Радиоактивные примеси** в рудничном воздухе встречаются в виде газообразных продуктов (эманаций) распада некоторых руд. Чаще всего встречаются радон, торон и актион. Опасность эманаций заключается в их ионизирующем излучении. Продукты распада эманаций, в свою очередь, излучают  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ -лучи. Санитарная норма радона в рудничном воздухе  $100 \cdot 10^{-11}$  кюри/л.

Кроме вышеперечисленных газов в шахтах (рудниках) встречаются альдегиды, пары мышьяка, ртути, цианистый водород. Все они очень ядовиты. Из тяжелых углеводородов встречается этан, пропан, бутан. Они могут выделяться из угля и образовываться при взрывных работах. Все они взрывоопасны.

## 2. МЕТАН

Метан является основной, наиболее распространенной частью рудничного газа. В литературе и на практике, метан, чаще всего отождествляется с рудничным газом. В рудничной вентиляции этому газу уделяется наибольшее внимание из-за его взрывчатых свойств.

### 2.1 Физико-химические свойства метана

Метан ( $\text{CH}_4$ ) – газ без цвета, вкуса и запаха. Плотность – 0,554. Метан инертен, но, вытесняя кислород, может составлять опасность для людей. Возгорается при температуре 650-750°C. С воздухом метан образует горючие и взрывчатые смеси. При содержании в воздухе до 5-6 % горит у источника тепла, от 5-6 % до 14-16 % – взрывается, свыше 14-16 % – не взрывается. Наибольшая сила взрыва при концентрации 9,5 %.

Одно из свойств метана – запаздывание вспышки, после контакта с источником воспламенения. Время запаздывания вспышки называется индукционным периодом. Наличие этого периода создает условия для предупреждения вспышки при взрывных работах, применяя предохранительные взрывчатые вещества (ВВ).

Давление газа в месте взрыва приблизительно в 9 раз выше начального давления газоздушной смеси до взрыва. При этом может возникать давление до 30 атмосфер и выше. Разные препятствия в выработках (сужение, выступы и т. д.) способствуют повышению давления и увеличивают скорость распространения взрывной волны в горных выработках.

При взрыве метана в шахтах наблюдаются два удара – прямой и обратный. Прямой удар – взрывная волна от источника воспламенения. Обратный удар – это взрывная волна, которая распространяется в обратном направлении, к центру взрыва (образуется в результате возникновения разряжения после конденсации паров воды).

### 2.2 Связь метана с породами

В породах метан находится в двух состояниях: в виде свободного и сорбированного (связанного) газа. В шахтах основное количество метана находится в сорбированном состоянии. Различают три формы связи метана с твердым веществом: адсорбцию (связывание молекул газа на поверхности твердого вещества под действием сил молекулярного притяжения), абсорбцию (проникновение



молекул газа в твердое вещество без химического взаимодействия) и хемосорбцию (химическое соединение молекул газа и твердого вещества). Метан находится, в основном, в адсорбированном состоянии. С повышением давления, количество сорбированного метана увеличивается, с повышением температуры – уменьшается.

### 2.3 Метаноносность и метаноемкость

Метаноносность – количество метана, который содержится в естественных условиях в единице веса (объема) угля или породы ( $\text{м}^3/\text{т}$ ,  $\text{м}^3/\text{м}^3$ ).

Метаноемкостью называется количество газа в свободном и сорбированном состоянии, которое может поглотить единица веса или объема (угля или породы) при данном давлении и температуре ( $\text{см}^3/\text{г}$ ,  $\text{см}^3/\text{см}^3$ ).

Основные факторы, которые определяют метаноносность угольных отложений, это степень метаморфизма угля, способность к сорбированию, пористость и газопроницаемость отложений, влажность, геологическая история месторождения, глубина залегания, гидрогеология и угленасыщенность месторождения.

### 2.4 Выделение метана в шахтах

В горные выработки метан выделяется с обнаженной поверхности угольных пластов, из отбитого угля, из выработанного пространства, с обнаженной поверхности пород.

Виды выделения метана: обычное, суфлярное, внезапное.

*Обычное* – метан выделяется с обнаженной поверхности угольного массива через мелкие, невидимые трещины. Величина этого газовыделения увеличивается с увеличением газоносности, газопроницаемости угля и газового давления. Максимальное газовыделение – сразу после вскрытия угольного пласта.

Время, прошедшее после вскрытия пласта, до момента прекращения газовыделения с его поверхности, называется периодом дренирования. В зоне дренирования метаноносность изменяется от некоторой минимальной величины, на кромке обнажения пласта, до метаноносности нетронутого массива на границе зоны. Выделение метана с обнаженной поверхности пласта зависит от интенсивности производственных процессов: зарубки, добычи угля и управления кровлей.

*Суфлярное* выделение метана – это выделение из больших, видимых на глаз трещин и пустот в угле и породах. Возможный дебит суфляра – до десятков тысяч  $\text{м}^3$  в сутки, длительность действия – от нескольких часов до нескольких лет. Суфляры представляют опасность из-за неожиданного проявления и резкого повышения концентрации метана в горной выработке. Кроме того, суфляр может быть одной из причин возникновения слоевого скопления метана. По происхождению встречаются естественные и эксплуатационные. Естественные суфляры встречаются в зонах геологических нарушений, а эксплуатационные – в процессе выемки угля.

Профилактика суфлярных выделений метана ведется с помощью предварительной дегазации массива, усиления проветривания опасных выработок, каптажа газа. При каптаже, устье суфляра окружается герметическим киоском, а газ по трубопроводу идет на поверхность или в исходящую струю шахты (крыла шахты).

При *внезапных выбросах* в горные выработки за короткий промежуток времени выделяется большое количество метана и измельченного угля (породы).

При этом в угольном пласте (массиве пород) образуются характерные полости. При выбросах выделяется от сотен до 500 тыс. м<sup>3</sup> метана, количество угля – до нескольких тыс. т.

Внезапные выбросы, чаще всего, происходят при вскрытии пластов, при пересечении зон геологических нарушений. Внезапные выбросы из пласта происходят на участках со сниженной прочностью угля и слабым контактом с вмещающими породами.

У внезапных выбросов есть предупредительные признаки: удары, толчки, гул, в угольном массиве, отпадение и отслоение угля с поверхности пласта в забое, отжим угля, повышенное газовыделение. Выбросы могут возникнуть после сотрясений массива в ходе выемочных работ при образовании зон повышенной концентрации напряжения (углы и уступы забоя). Таким образом, основные причины возникновения выбросов: горное давление, энергия газа в угле и физико-механические свойства угольного пласта.

*Газовыделение из отбитого угля* проявляется, в основном, в забое при отделении угля от массива и при погрузке на конвейер. Вместе с тем, при повышенной скорости движения забоя, концентрация метана растет по всей конвейерной цепочке. Основное выделение метана из отбитого угля происходит на протяжении часа после его отделения от массива. Через 10-12 часов газовыделение практически прекращается. Некоторое количество газа, которое осталось в угле, называют *остаточной газонасыщенностью*. Для большинства углей она может составить 2-5 м<sup>3</sup>/т.

*Газовыделение из отработанных пространств*, происходит в призабойное пространство лав, в вентиляционные выработки выемочных участков и в любые выработки, которые примыкают к выработанным пространствам. Основные источники выделения метана в выработанные пространства – сближенные угольные пласты, целики угля, уголь оставленный в выработанном пространстве и т. п. Газовыделение из выработанного пространства, на любом участке вентиляционного штрека, определяется как разница количества газа в начале и конце этого участка. Его величина может увеличиться при резком падении барометрического давления. Это необходимо учитывать при ведении выемочных работ, ограничивая, на этот период, нагрузку на добычные механизмы.

Неравномерность газовыделения в шахте определяет коэффициент неравномерности. Его величина зависит от интенсивности выемочных работ, способа управления кровлей, длины выработки, источника газовыделения, изменения барометрического давления и величины абсолютного газовыделения. В целом, по шахте, значения этого коэффициента меньше, чем для отдельных участков. Для правильной организации проветривания шахты необходимо знать ее газовый баланс. Он представляет собой сумму абсолютных метанонасыщенностей всех источников метановыделения. Газовый баланс зависит от системы разработки, способа управления кровлей, объема выработанного пространства, развития очистительных и подготовительных работ, свойств угля и вмещающих пород, горногеологических условий. В Донбассе, часть метановыделения из выработанных пространств составляет 25-35 %.

## 2.5 Управление метановыделением

Управление метановыделением в шахте заключается в его перераспределении. Это достигается изменением схемы проветривания выемочного участка или разработкой специальных мероприятий, по управлению вентиляцией выработанных пространств.

В действующем «Пособии по проектированию вентиляции» представлены 52 схемы проветривания выемочных участков. Все они применяются в зависимости от конкретных горногеологических условий и принятой системы разработки. Для уменьшения метановыделения применяются разные способы дренирования метана из выработанного пространства, сближенных пластов и разрабатываемого пласта.

Недопустимые концентрации метана в горных выработках, на шахтах опасных по газу, определены Правилами безопасности и составляют:

- исходящая из тупиковой выработки, камеры, поддерживаемой выработки – более 1 %;
- исходящая из очистной выработки, выемочного участка при отсутствии АКМ – более 1 %;
- исходящая из очистной выработки, выемочного участка при наличии АКМ – более 1,3 %;
- исходящая крыла, шахты – 0,75 %;
- поступающая на выемочный участок, к очистительным и подготовительным забоям и камерам – 0,5 %;
- местные и слоевые скопления метана – больше 2 %;
- на выходе из смесительных камер – больше 2 %;
- трубопроводы для изолированного отвода метана с помощью вентиляторов (эжекторов) – больше 3,5 %;
- дегазационные трубопроводы – от 3,5 до 25 %.

## 2.6 Мероприятия по борьбе с метаном в шахтах

На газовых шахтах применяется комплекс мер, направленный на предупреждение опасных скоплений метана, предупреждение воспламенений метана, ограничение последствий взрывов, предупреждение проявления суффляров и внезапных выбросов.

Эффективной считается такая вентиляция, при которой в рудничной атмосфере поддерживаются допустимые концентрации метана. Распределение воздуха по шахте определяется соответствующими расчетами и обеспечивается с помощью вентиляционных сооружений (вентиляционные двери, окна, проемы, кроссинги, и т. п.). Кроме того, необходимо предусматривать специальные мероприятия для предупреждения образования слоев метана под кровлей горных выработок. Длина таких слоев может составлять десятки метров. Такая угроза существует там, где скорость воздуха составляет менее 1,0 м/с. В выработке с нисходящим движением воздуха слой метана может двигаться навстречу воздуху. Выработки с загрязненным (отработанным) воздухом должны быть с восходящим проветриванием, а для обеспечения дополнительного перемешивания вентиляционного потока нужно использовать специальные устройства и вентиляторы местного проветривания.

В тех случаях, когда возможности вентиляции шахты, по снижению концентраций метана, исчерпаны, необходимо применять дегазацию. Все методы дегазации можно разделить на две группы: оперативная дегазация (применяемая в ходе выемочных работ) и предварительная – перед началом добычи угля. В первую группу можно включить дегазацию сближенных пластов, газоотсос из выработанных пространств, нагнетание воды в пласт. Способы предварительной дегазации содержат в себе подработку (надработку) сближенных пластов, проведение дегазационных выработок, бурение дегазационных скважин, гидрорасчленение пластов.

### 3. ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ, ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ РУДНИЧНОЙ АЭРОЛОГИИ

#### 3.1 Аэростатика

Аэростатика – наука о равновесии газов. Одной из основных ее задач, является определение изменения давления с высотой (глубиной) в неподвижном воздухе. Это давление, называется аэростатическим и представляет собой вес вышележащих слоев воздуха. При отсутствии движения воздуха, на него действует только сила тяжести.

В общем виде, основное уравнение аэростатики имеет следующий вид

$$dp = \rho g dz, \quad (1)$$

где  $\rho$  – плотность воздуха.

Давление воздуха ( $p$ ), на какой-то глубине ( $z$ ), можно определить по барометрической формуле

$$p = p_0 + \rho g z, \quad (2)$$

где  $p_0$  – начальное давление.

Из барометрической формулы следует, что давление в выработке не зависит от площади ее сечения.

Важным свойством воздушной среды является то, что давление в данной точке одинаково во всех направлениях и изменение давления, на поверхности земли приводит к изменению давления во всех точках среды. Это свойство называется *законом Паскаля*. В соответствии с ним, при изменении давления на поверхности земли на  $n$  единиц, во всех выработках шахты давление также изменится на  $n$  единиц.

Под атмосферным давлением в шахте понимается аэростатическое давление (сокращенно – статическое).

#### 3.2 Аэродинамика

Полное давление движущегося воздуха ( $p$ ) в каждой точке потока состоит из статической ( $p_{ст}$ ) и динамической ( $p_{дин}$ ) составляющих. Закон Бернулли показывает, что сумма статического и динамического давлений неизменна для всех точек лежащих на одной линии в одном сечении потока воздуха. Статическое давление на стенке канала, по которому движется воздух, там, где скорость потока равняется нулю ( $V=0$ ), равняется полному давлению в потоке. Статическое давление характеризует потенциальную энергию потока воздуха, а динамическое или скоростное давление – кинетическую энергию движущегося воздуха.

$$p = p_{ст} + p_{дин} = const. \quad (3)$$

Закон сохранения движущейся массы определяет, что масса любого объема воздуха остается постоянной в процессе его движения. Другими словами, изменение массы во времени равняется нулю.

Для элементарного потока, между двумя его сечениями можно записать (если считать, что плотность воздуха по пути его движения неизменна)

$$V_1 S_1 = V_2 S_2,$$

где  $S_1, S_2$  – площади начального и конечного сечений элементарного потока;  $V_1, V_2$  – скорости движения воздуха через эти сечения.

Для расхода воздуха по всему сечению:

$$Q_1 = Q_2. \quad (4)$$

Для массового расхода (неизотермический поток):

$$M_1 = M_2.$$

Депрессия ( $h_o$ ) горной выработки (разница статического давления между началом и концом выработки в движущемся воздухе) определяется с помощью уравнения

$$(p_1 - p_2) - z_c g(\rho_1 \pm \rho_2)/2 = h_o, \quad (5)$$

где  $p_1, p_2$  – соответственно, статическое давление воздуха в начале и в конце выработки;  $z_c$  – высота столба воздуха между началом и концом выработки (для наклонной или вертикальной выработки);  $\rho_1, \rho_2$  – плотность воздуха в начале и в конце выработки.

Величина в первых скобках – разница статических давлений между началом и концом выработки, измеренная на почве выработки (там, где скорость движения воздуха равняется нулю). Во вторых скобках – статическое давление столба воздуха между началом и концом выработки (плотность воздуха в столбе определяется как средняя между начальной и конечной). Для горизонтальной выработки –  $z_c = 0$ .

Величина  $(p_1 - p_2)$  появляется в результате совместной работы вентилятора и естественной тяги ( $h_e$ ). Естественная тяга возникает при разной плотности воздуха в двух столбах воздуха. Ее величину ( $h_e$ ) можно посчитать как разницу давлений  $z_c g(\rho_{cp1} \pm \rho_{cp2})$  двух столбов воздуха одинаковой высоты с разной средней плотностью ( $\rho_{cp1}, \rho_{cp2}$ ). Считаем, что работа вентиляторов главного проветривания не влияет на плотность шахтного воздуха. Естественная тяга формируется естественным фактором – например, температурой пород.

Для упрощенной шахты с двумя стволами (открытый контур без канала вентилятора и пути внешних подсосов) можно записать, что депрессия шахты равняется сумме депрессии вентилятора, которая приходится на шахту ( $h_{e.u.}$ ) и естественной тяги, которая формируется в шахтных стволах ( $h_{e.c}$ )

$$h_{e.u.} \pm h_{e.c} = h_{e.ш} \quad (6)$$

Из уравнения (6) следует общая формулировка закона сохранения энергии при движении воздуха по выработкам шахтной сети: при устоявшемся движении воздуха по выработкам, энергия (статическая депрессия) от внешних и внутренних источников тяги, полностью тратится на преодоление сопротивления пути движения воздуха.

Полная статическая депрессия вентилятора ( $h_{e.n.}$ ) определяется как сумма депрессии сети вентилятора со стороны всасывания ( $h_{e.в.}$ ) и стороны нагнетания (депрессия диффузора –  $h_o$ ) вентиляторной установки

$$h_{e,n} = h_{e,e} \pm h_d \quad (7)$$

Действие естественной тяги может совпадать или противодействовать работе вентилятора главного проветривания ( $\pm h_e$ ).

### 3.3 Режимы движения воздуха

Спокойное движение воздуха по любому каналу без перемешивания между отдельными слоями потока, называется ламинарным. Бурное движение воздуха, которое характеризуется перемешиванием между отдельными слоями потока, называется турбулентным. Основное различие между этими видами движения заключается в том, что во время ламинарного движения, обмен между слоями потока происходит на молекулярном уровне, а при турбулентном – происходит обмен объемами.

Режим движения воздуха в канале (выработке) определяет специальный критерий – число Рейнольдса ( $Re$ )

$$Re = \frac{4V_{cp}S}{P\nu}, \quad (8)$$

где  $V_{cp}$  – средняя скорость движения воздуха в выработке;

$S$  – площадь поперечного сечения выработки;

$P$  – периметр выработки;

$\nu$  – кинематическая вязкость воздуха.

Для шахтных выработок критическое значение числа Рейнольдса равняется 1000-1500. Минимальная скорость воздуха, при которой движение воздуха еще остается турбулентным, равняется 0,006-0,01 м/с. Поэтому, в горных выработках, проветриваемых дежельной вентиляционной струей, движение воздуха, как правило, турбулентное.

Все воздушные потоки в выработках можно разделить на два типа: ограниченные (с твердыми границами) и свободные (свободные струи), которые не имеют твердых границ. В горных выработках твердыми границами являются стенки выработок. Свободные струи образуются при выходе ограниченного потока в неограниченное (достаточно большое) пространство. Например, выход потока в камеру большого сечения или из трубопровода в выработку. Если на каком-то участке свободная струя сталкивается с твердой поверхностью и не получает полного развития, она называется неполной. Дальнобойность турбулентной струи определяется по формуле В.Н. Воронина

$$l = 0,5\sqrt{S}\left(1 + \frac{1}{2\alpha}\right), \quad (9)$$

где  $S$  – площадь поперечного сечения выработки;

$\alpha$  – коэффициент структуры струи.

## 4. АЭРОДИНАМИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

Закон сопротивления в рудничной вентиляции описывает связь между потерей давления и расходом воздуха в горной выработке. Эта зависимость определена экспериментально и, в общем случае, имеет вид

$$h = R Q^n. \quad (10)$$

Величина показателя степени определяет тип движения воздуха – ламинарный или турбулентный. При ламинарном, показатель степени равняется 1, а при турбулентном – 2. В некоторых случаях возможны промежуточные значения. При фильтрационном просачивании воздуха через трещины в массиве обрушенных породы, величина показателя меняется от 1 до 2.

При движении по горным выработкам воздух может преодолевать три вида сопротивлений:

- сопротивление трения о стенки выработок;
- лобовые сопротивления;
- местные сопротивления.

Сопротивление трения о стенки выработки. В горных выработках основное сопротивление движению воздуха оказывает крепь. Формула, которая связывает потери давления в выработке (трубопроводе) с расходом воздуха и геометрическими размерами выработки имеет следующий вид

$$h = \frac{\beta\rho}{2} \frac{LP}{S^3} Q^2, \quad (11)$$

где  $\beta$  – безразмерный коэффициент трения, который зависит от шероховатости стенок выработки;

$P, L, S$  – периметр, длина и площадь, сечения выработки, соответственно.

Величины  $\beta$  и  $\rho$  объединяют в один коэффициент, названный коэффициентом сопротивления трения

$$\alpha = \frac{\beta\rho}{2}. \quad (12)$$

С учетом (12), формула для расчета депрессии, приобретает следующий вид

$$h = \alpha \frac{LP}{S^3} Q^2. \quad (13)$$

Величина

$$R = \alpha \frac{LP}{S^3} \quad (14)$$

называется аэродинамическим сопротивлением трения, Па с<sup>2</sup>/м<sup>6</sup>.

Поскольку на шероховатость стенок горной выработки влияют элементы крепления выработки, то ее величина зависит от расположения этих элементов, то есть от их продольной плотности. Влияние продольной плотности элементов крепления характеризуется продольным калибром крепления.

**Местные сопротивления.** К местным сопротивлениям относятся повороты, внезапные расширения или сужения горных выработок, вентиляционные окна, разветвления выработок, кроссинги, каналы вентиляторов и тому подобное (рис. 1). Депрессия местного сопротивления ( $h_{м.с}$ ) определяется как часть скоростной энергии (скоростной напор) потраченной на преодоление сопротивления

$$h_{м.с} = \xi \frac{V^2 \rho}{2}, \quad (17)$$

где  $\xi$  – безразмерный коэффициент местного сопротивления;

$V$  – скорость воздуха до или после местного сопротивления.

Величина  $\xi$  определяется опытным путем. Так, например, установлено, что коэффициент местного сопротивления внезапного расширения больше, чем для сужения в 1,47 раза.

В упрощенном виде формула для определения величины местного сопротивления (при известной величине  $\xi$ ) имеет следующий вид

$$R = 0,6 \xi / S^2. \quad (18)$$

Величина площади сечения ( $S$ ) выработки определяется в месте соответствующего измерения скорости.

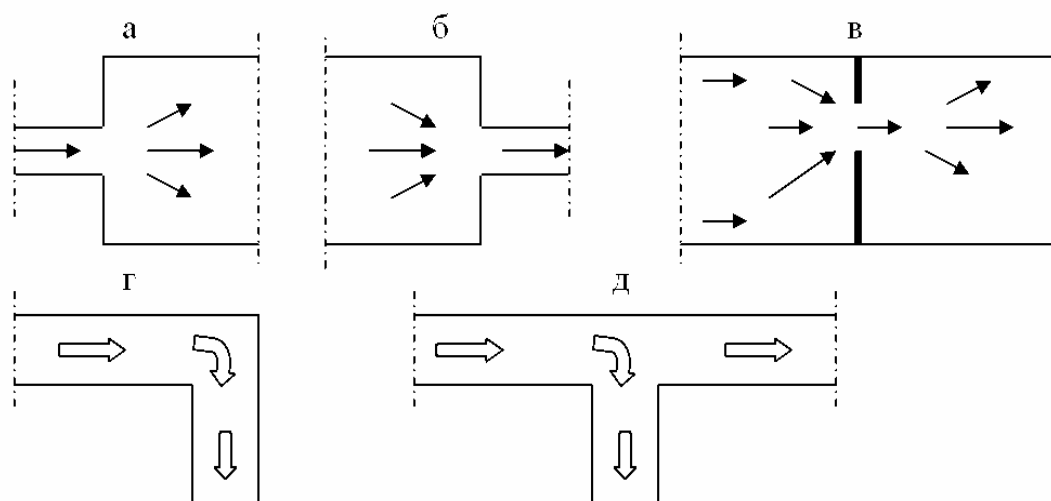


Рис. 1 – Местные сопротивления в горных выработках

Величины местных сопротивлений разных соединений выработок рассчитываются по формулам полученным в гидравлике. Так, например, для «тройников» (с прямоугольными кромками), при делении основной струи на два или три разветвления, величина коэффициента местного сопротивления изменяется от 2 до 3,6. Величина сложных местных сопротивлений (поворот с одновременным изменением пересечения, двойные повороты, кроссинги и тому подобное) определяется, как сумма простых сопротивлений, с учетом их коэффициентов местного сопротивления.

**Лобовое сопротивление.** Потеря депрессии на обтекание тела произвольной формы, поставленное поперек потока воздуха, пропорциональна скоростному напору, так называемому миделеву сечению тела  $S_{мид}$  (наибольшее сечение тела в плоскости, перпендикулярной воздушному потоку) и некоторому коэффициенту  $c$ , который зависит от формы тела. Этот коэффициент безразмерный и определяется опытным путем. Его называют коэффициентом лобового сопротивления. Экспериментально установлено, что при турбулентном движении воздуха, его величина не зависит от скорости потока. Потерю депрессии на лобовое сопротивление, в общем виде, выражает следующее уравнение:

$$h_{л.с} = \frac{cV^2 \rho}{2} \frac{S_{мид}}{S - S_{мид}}. \quad (19)$$

Величину лобового сопротивления определяет формула

$$R_{л.с} = 0,6 \frac{cS_{мид}}{(S - S_{мид})^3}. \quad (20)$$

Потери депрессии (энергии) на преодоление лобового сопротивления вызваны, в основном, возникновением вихря за обтекаемым телом.



## 5. ШАХТНЫЕ ВЕНТИЛЯЦИОННЫЕ СЕТИ

Совокупность всех путей, по которым движется воздух, называется шахтной вентиляционной сетью. Совокупность горных выработок, вентиляционных сооружений, и устройств для распределения воздуха, вентиляторов главного и местного проветривания называется шахтной вентиляционной системой. Следовательно, шахтная вентиляционная сеть это вентиляционная система, которую мы представляем в виде вентиляционной сети.

На шахтах, для изображения путей движения воздуха, построения маршрутов движения людей, трубопроводов, транспортных цепочек, и так далее, используются схемы вентиляции шахт, схемы вентиляционных соединений, и планы горных работ.

Схемы вентиляции отражают взаимное безмасштабное расположение горных выработок. Единственный критерий расположения – удобство восприятия. Схемы вентиляционных соединений показывают безмасштабное соединение элементов (ветви-выработки) вентиляционной сети. Их назначение – это графическое представление связей всех элементов шахтной схемы вентиляции на бумаге. На планах горных работ взаимное расположение горных выработок представляется в масштабе, с учетом их положения во времени.

На схемах вентиляционных соединений в виде узла показывают соединение (сопряжение) трех (двух) и больше выработок. Выработки, которые соединяют два узла, называются ветвями. В то же время, отдельные ветви могут вмещать несколько выработок соединенных последовательно.

Часть схемы, ограниченная ветвями, которая не имеет внутри других ветвей называется элементарным вентиляционным контуром (рис. 2). Ветви (1-2, 2-3, 3-4, 1-4), ограничивающие ячейку, являются элементами этого вентиляционного контура. Внутри ячейки другие ветви отсутствуют.

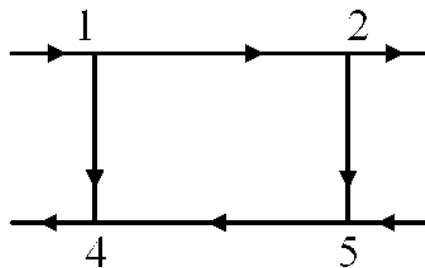


Рис. 2 – Элементарный вентиляционный контур

### 5.1 Виды вентиляционных соединений горных выработок

В зависимости от взаимного расположения выработок различают три основных вида их соединений. Последовательное, параллельное и диагональное.

**Последовательное соединение.** Соединение выработок без разветвлений называется последовательным. Например, выемочный участок состоит из конвейерного штрека (1-2), лавы (2-3) и вентиляционного штрека, 3-4 (рис. 3).

Депрессия последовательного соединения определяется, как сумма депрессий ветвей, которые входят у него. Например, для схемы на рис. 3, общее сопротивление последовательного соединения выработок равняется их сумме

$$R = R_{1-2} + R_{2-3} + R_{3-4}. \quad (21)$$

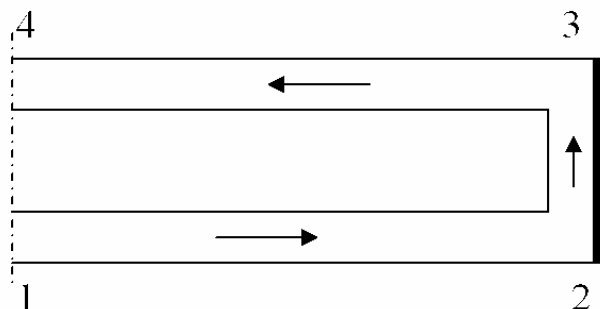


Рис. 3 – Упрощена схема участка выемки

Расход воздуха во всех выработках одинаков ( $Q = Q_{1-2} = Q_{2-3} = Q_{3-4}$ ).

Тогда, умножив все члены уравнения (21) на  $Q_2$ , получим

$$R Q^2 = R_{1-2} Q_{1-2}^2 + R_{2-3} Q_{2-3}^2 + R_{3-4} Q_{3-4}^2. \quad (22)$$

или

$$h = h_{1-2} + h_{2-3} + h_{3-4}. \quad (23)$$

Депрессия последовательного соединения равна сумме депрессий ветвей, которые входят в него.

**Параллельное соединение.** Параллельным соединением выработок называется такое соединение, когда выработки связаны между собой только в двух общих узлах-сопряжениях. Пример простого параллельного соединения показан на рис. 4. В параллельном соединении разница давлений (депрессия) в узлах для всех ветвей одинаковая. Для схемы представленной на рис. 4 можно записать, что общая депрессия параллельного соединения равна депрессии каждой из его ветвей

$$h = h_A = h_B. \quad (24)$$

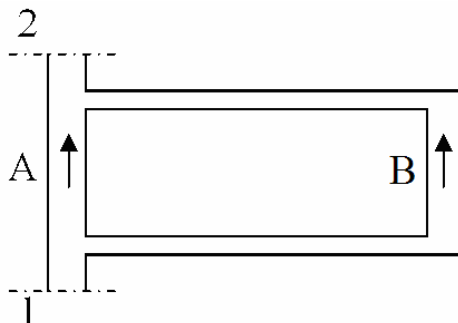


Рис. 4 – Простое параллельное соединение

Общий расход воздуха в параллельном соединении равен сумме расходов в отдельных ветвях

$$Q = Q_A + Q_B. \quad (25)$$

Подставляя вместо расходов воздуха, в уравнении (25) соотношение  $\sqrt{\frac{h}{R}}$ , с учетом (24) можно записать формулу для определения общего сопротивления параллельного соединения

$$\frac{1}{\sqrt{R}} = \frac{1}{\sqrt{R_A}} + \frac{1}{\sqrt{R_B}}, \quad (26)$$

или в общем виде

$$R = \frac{1}{\left( \frac{1}{\sqrt{R_1}} + \dots + \frac{1}{\sqrt{R_n}} \right)^2}. \quad (27)$$

В частном случае, когда  $R_1=R_2=\dots=R_n$ , можно записать

$$R = \frac{R_n}{n^2}. \quad (28)$$

Расход воздуха в одной из ветвей ( $Q_1$ ) параллельного соединения (из двух ветвей), можно определить через общий расход воздуха

$$Q_1 = \frac{Q}{1 + \sqrt{\frac{R_1}{R_2}}}. \quad (29)$$

Распределение воздуха, в ветвях параллельного соединения, происходит обратно пропорционально квадратному корню из отношения сопротивлений ветвей.

**Диагональное соединение.** Диагональное соединение можно рассматривать, условно, как параллельное соединение двух выработок, связанных между собой выработкой-диагональю (рис. 5, участок BC).

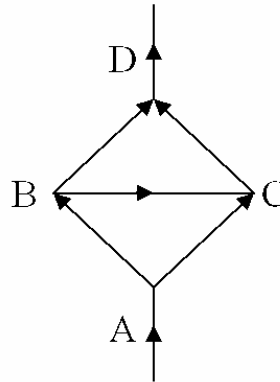


Рис. 5 – Схема диагонального соединения

Основным свойством диагонального соединения является то, что движение воздуха в ветви-диагонали не зависит от ее аэродинамического сопротивления. Так, например, воздух будет двигаться из узла B в узел C, если выполняется условие

$$\frac{R_{AB}}{R_{BD}} < \frac{R_{AC}}{R_{CD}}. \quad (30)$$

При равенстве этих отношений расход воздуха в диагонали равняется нулю ( $Q_{BC}=0$ ).

Депрессия диагонального соединения равна сумме депрессий выработок, которые последовательно примыкают друг к другу

$$h = h_{AC} + h_{CD} = h_{AB} + h_{BD} = h_{AB} + h_{BC} + h_{CD}. \quad (31)$$

Общее сопротивление диагонального соединения определяет формула

$$R = h / Q^2, \quad (32)$$

где  $Q$  – расход воздуха, который проходит через диагональное соединение.

Расчет воздуха в ветвях диагонального соединения определяется по приближенным формулам с использованием уравнения гиперболы.

Сложные (комбинированные) вентиляционные соединения могут содержать в себе комбинации разных видов вентиляционных соединений.

## 5.2 Законы распределения воздуха в вентиляционных сетях

Распределение воздуха в горных выработках происходит в соответствии с законами Кирхгоффа. Первый закон сетей, в общем виде, означает, что сумма расходов воздуха в узле равна нулю

$$\sum_{i=1}^n Q_i = 0. \quad (33)$$

Иными словами, сумма расходов воздуха, которые поступают в узел, равна сумме расходов воздуха выходящих из него.

Второй закон сетей показывает, что сумма депрессий ветвей в вентиляционном контуре равняется нулю

$$\sum_{j=1}^m h_j = 0. \quad (34)$$

Для суммирования депрессий ветвей в вентиляционном контуре, необходимо определить (принять), какое-то направление «обхода» контура. И, если, направление обхода контура совпадает с направлением движения воздуха в ветви, то величина депрессии берется со знаком «+», а если противоположно, то со знаком «-». Данный закон выполняется при отсутствии в ветвях источников тяги (энергии).

## 6. ЕСТЕСТВЕННАЯ ТЯГА

### 6.1 Общие понятия

Эффект естественной тяги проявляется из-за разницы давлений воздуха (аэростатических давлений) в вертикальных и наклонных горных выработках. Депрессия естественной тяги, для схемы на рис. 6, представляет собой разницу аэростатических давлений в пунктах 2 и 3.

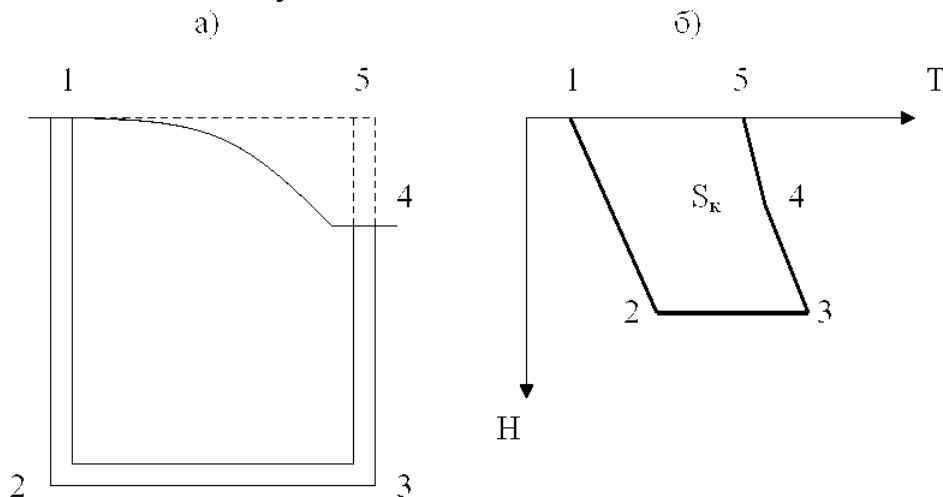


Рис. 6 – Схема горных выработок с естественной тягой

Разница давлений в пунктах 2 и 3 возникнет, если средние показатели плотности воздуха в этих столбах будут разными, например  $\rho_1 > \rho_2$ . Тогда

$$h_e = (\rho_1 - \rho_2) H, \quad (35)$$

где  $H$  – вертикальная высота столбов воздуха (1-2 и 5-4-3).

Величина естественной тяги может быть определена термодинамическим методом, предложенным А.Ф. Воропаевым. Для этого строится диаграмма (рис. 6б) в

координатах: геодезическая высота (м) – температура (град). Депрессия естественной тяги определится по формуле

$$h_e = \frac{S_k}{T_y} \rho_{cp}, \quad (36)$$

где  $\rho_{cp}$  – плотность объемной единицы воздуха;

$S_k$  – площадь фигуры;

$T_y$  – абсолютная температура в центре массы фигуры.

Подсчет  $h_e$  для действующих шахт выполняется по данным о фактических температурах, измеренных в шахте. При проектировании шахты, температура на поверхности принимается по данным наблюдений для конкретного региона, а в горных выработках, определяется специальным расчетом по известным закономерностям, характерным для данного региона.

Для шахт, которые ведут горные работы на нескольких горизонтах, характерным является наличие естественной тяги на каждом горизонте.

Основная причина изменения плотности воздуха в вертикальных и наклонных выработках шахт, это изменение температуры воздуха в выработках, с поступающей и исходящей струей воздуха. На шахтах глубиной до 400 м, в теплое время года, вес столба воздуха в стволах, с поступающей вентиляционной струей, может быть меньше, чем в стволах с исходящей вентиляционной струей. В этом случае, при работе вентилятора (-ров) на всасывание, естественная тяга может противодействовать работе вентилятора – «отрицательная» естественная тяга. В холодное время года, естественная тяга, как правило, «положительная», то есть направление ее действия совпадает с направлением движения воздуха, за счет действия вентиляторов. Следует отметить, что в практике эксплуатации угольных шахт известны случаи, когда в отдельных горных выработках, происходило опрокидывание вентиляционной струи, из-за действия естественной тяги. Это возможно в вертикальных и наклонных горных выработках с интенсивным тепловыделением (конвейер, трубопровод сжатого воздуха).

В общем случае, можно считать, что на глубоких шахтах (со стволами глубиной более 600 м), действие естественной тяги, в холодное время года, увеличивает количество воздуха, поступающего в шахту, а в теплое – уменьшает.

Величина естественной тяги, на шахтах со стволами глубиной более 1000 м, может составлять, в холодное время года, 100-120 даПа и более.

Схемы вентиляции современных шахт содержат в себе вертикальные, наклонные и горизонтальные выработки. В этих условиях, определить величину депрессии естественной тяги измерением, практически невозможно. Это обуславливается наличием нескольких вентиляционных контуров, в которых она формируется. Действие естественной тяги, в отдельном вентиляционном контуре, можно рассматривать как действие точечного источника тяги (условные вентиляторы, с горизонтальной рабочей характеристикой, депрессия которых эквивалентна величине депрессии естественной тяги). При работающем вентиляторе главного проветривания (ВГП), воздух в шахту будет поступать за счет суммарного действия всех этих условных вентиляторов и ВГП.

В общем случае, для угольных шахт, можно выделить три основных группы выработок, в которых формируется естественная тяга. Это стволы, наклонные выработки выемочных полей и выемочные участки. В принципе, можно представить

себе вентиляционную сеть с тремя последовательно расположенными источниками тяги (условными вентиляторами), однако, в реальных условиях, количество вентиляционных контуров с естественной тягой, может составлять несколько десятков и выделить влияние каждого из них на проветривание шахты, практически, невозможно. В связи с вышеизложенным, большинство описанных способов определения общей шахтной естественной тяги измерением, можно рассматривать только как учебные, то есть, те, которые демонстрируют особенности этого физического явления, на примере элементарных схем вентиляции.

В условиях реальных шахт, величину естественной тяги, в отдельных частях шахты (стволы, наклонные выработки, выемочные участки), с достаточной для практических целей точностью, можно определить с помощью микроманометра и резиновой трубки. Однако, в этом случае, резиновая трубка должна быть проложена во всей подземной части шахты (для схемы на рис. 6, по маршруту 1-2-3-4). Использование барометров или полуэмпирического метода, основанного на измерениях при работающем и остановленном вентиляторе, дает большую погрешность.

Для расчета естественной тяги необходимо знать средние температуры воздуха, который входит и выходит по стволам. Причем, в верхней части воздухоподающего ствола она равна температуре на поверхности (или ниже калорифера), а в других частях температуру можно определить по приближенным зависимостям.

## 6.2 Влияние естественной тяги на проветривание шахты

На шахтах с глубокими стволами, общешахтная естественная тяга, в течении года совпадает с работой вентилятора, хотя часть ее, что формируется в контуре стволов, уменьшается. С практической точки зрения, действие естественной тяги в холодное время года, можно рассматривать, как своеобразный резерв в обеспечении шахты воздухом. В то же время, необходимо учитывать, что при низких температурах воздуха на поверхности, для подогрева воздуха используются калориферы и, в отдельных случаях (при сильных морозах), поступление воздуха в стволы ограничивают, закрывая ляды у устьях стволов с поступающей струей. Таким образом, в реальных условиях глубоких шахт, значительного изменения режима проветривания горных выработок, не происходит.

Особенного внимания заслуживает влияние естественной тяги на проветривание шахты, в переходный период: осень-зима и весна-лето, когда подогрева воздуха еще нет или уже нет. Главная особенность этих периодов заключается в больших перепадах температуры воздуха на поверхности, в течение суток (днем воздух может прогреться к  $+10-15^{\circ}\text{C}$ , а ночью температура падает до  $-5-10^{\circ}\text{C}$ ), и, как следствие, – в суточных изменениях величины депрессии естественной тяги в 2-3 раза. На шахтах с глубокими стволами (более 600 м), при этом возможны колебания расходов воздуха в горных выработках, в пределах 10-25 %. На газовой шахте такие колебания режима проветривания могут привести к изменению газового режима горных выработок и возникновению аварийной ситуации.

Влияние естественной тяги на режим проветривания горных выработок, шахты, в целом и на режим работы вентилятора (-ров) оценивается неоднозначно.

Существующая практика соотношения величины депрессии естественной тяги и депрессии вентилятора главного проветривания, не совсем корректна. Это проявляется, в первую очередь, в том, что вентилятор, как источник тяги, расположен за пределами вентиляционной сети (внешний вентиляционный контур), а естественная тяга, рассматриваемая как некоторый набор условных вентиляторов, «расположена» внутри вентиляционной сети. Рассмотрим это положение на примере упрощенной схемы шахты (рис. 7), в которой естественная тяга действует только в контуре шахтных стволов (1-2-3-4). Для вентилятора, сопротивление сети представляет собой последовательное соединение канала вентилятора ( $R_{4-6}$ ) и параллельного соединения ветвей 1-4 (сопротивление шахты  $R_{ш}$ ), и 5-4 (внешних утечек –  $R_{ВУ}$ ). Относительно естественной тяги (представим себе, что вентилятор главного проветривания остановлен), вентиляционная сеть имеет другое сопротивление, потому что состоит из последовательно соединенных ветвей 1-4 и параллельного соединения ветвей 5-4 и 4-6. Для естественной тяги, канал вентилятора и вентилятор является ветвями параллельного соединения – 4-5(6). Для определения величины сопротивления этого соединения необходимо вычислить сопротивление устья ствола (4-5) и канала с остановленным вентилятором (4-6).

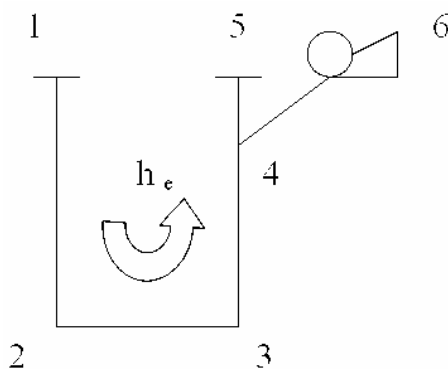


Рис. 7 – Упрощенная схема шахты

Для оценки влияния естественной тяги стволов на режим работы вентилятора, используем графический метод. Допустим, характеристика вентилятора описывается кривой 1-1 (рис. 8). Вычитая характеристики канала ( $R_k$ ) и внешних утечек ( $R_{ВУ}$ ) из характеристики вентилятора (1-1), а затем, из характеристики параллельного соединения (2-2), соответственно, по ординатам и по абсциссам, получим характеристику вентилятора, приведенную к шахте (3-3). Режим проветривания шахты определяет точка  $a$  пересечения аэродинамической ( $R_{ш}$ ) и приведенной характеристики (3-3). Режим работы ВГП – координаты точки  $b$ .

Действие естественной тяги и ее влияние на режим проветривания шахты, определяем с помощью активизированной характеристики сети (рис. 9). Режим проветривания шахты, при общем действии естественной тяги (положительная естественная тяга) и ВГП определяют координаты точки  $a'$  ( $H'_{ш}$ ,  $Q'_{ш}$ ). Естественная тяга замещает действие вентилятора в шахте ( $H_{ш} - H'_{ш}$ ) и увеличивает расход воздуха ( $Q'_{ш} > Q_{ш}$ ). Влияние естественной тяги на режим работы ВГП, определяют координаты точки  $b'$  на характеристике вентилятора.

Анализ действия естественной тяги в стволах, показывает, что режим проветривания шахты изменяется в большей мере, чем режим работы вентилятора главного проветривания.

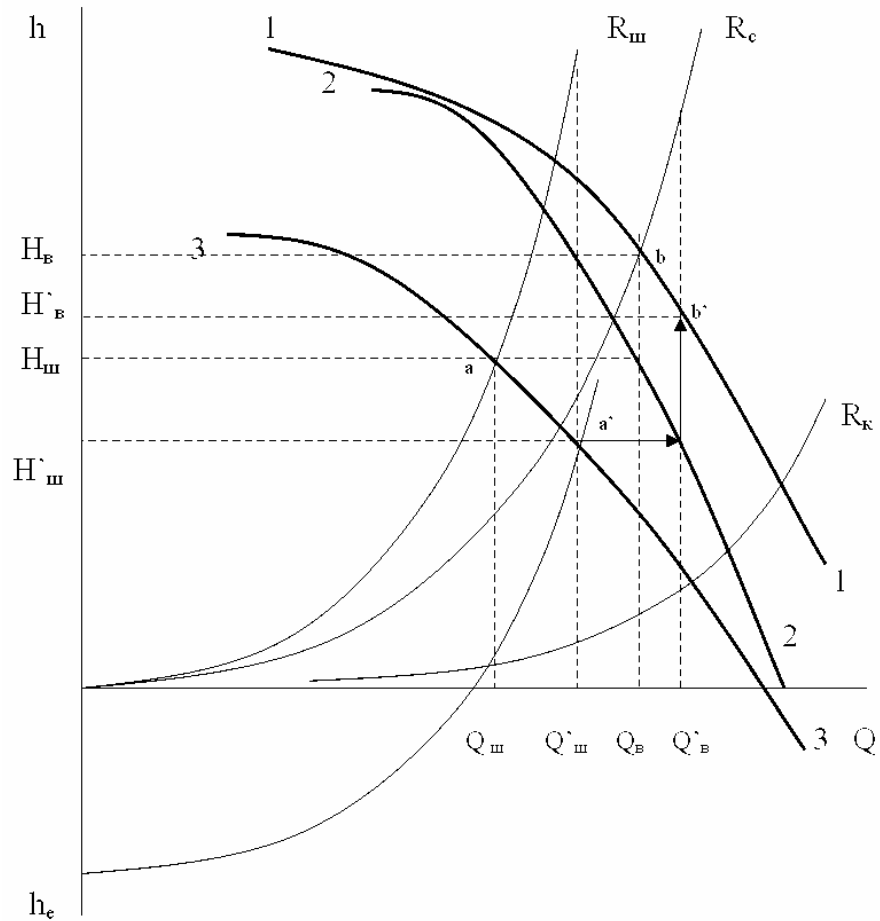


Рис. 8 – Определение режима проветривания шахты

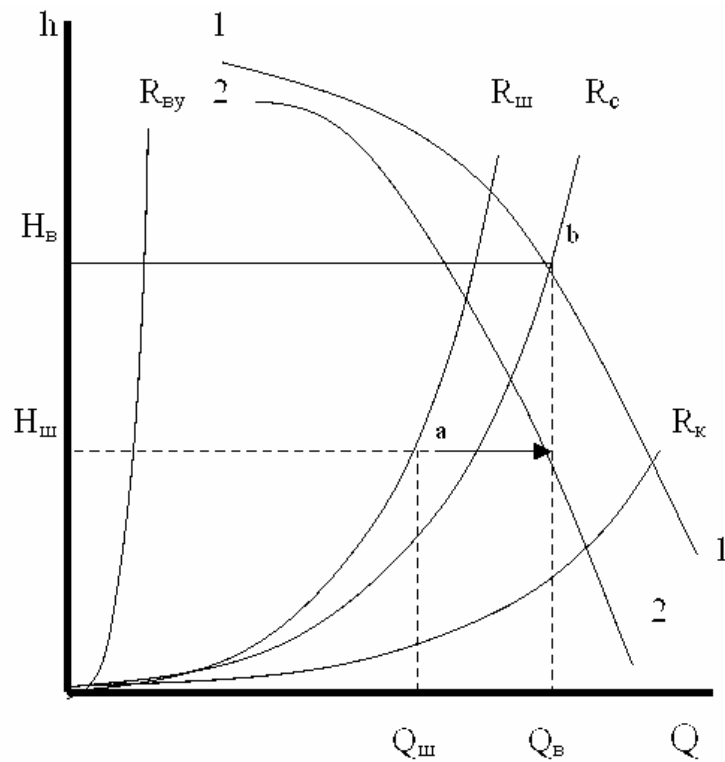


Рис. 9 – Влияние естественной тяги на режим работы ВПП

$$H_m - H'_m > H_B - H'_B \quad (37)$$

$$Q'_m - Q_m > Q'_B - Q_B \quad (38)$$



Это значит, что, по изменению режима работы ВГП, нельзя судить о величине естественной тяги, действующей в стволах и всей вентиляционной сети. Кроме того, можно считать, что, в реальных вентиляционных сетях, на режим вентиляции шахты и режим работы вентилятора в большей мере влияет естественная тяга, которая формируется в стволах.

Вышеприведенное позволяет утверждать, что, на шахте, с глубокими стволами, при определении сопротивления вентиляционной сети, следует сначала определить сопротивление шахтной сети, а затем – сопротивление всей сети, на которую работает вентилятор.

## 7. РАБОТА ВЕНТИЛЯТОРОВ НА ШАХТНУЮ ВЕНТИЛЯЦИОННУЮ СЕТЬ

Вентиляторы, которые используются для проветривания угольных шахт, бывают двух типов: осевые и центробежные. Они отличаются, в основном, устройством рабочего колеса, направлением движения воздуха (в середине вентилятора) и видом рабочей характеристики.

### 7.1 Определение режима работы вентилятора

Все возможные режимы работы вентилятора лежат на его рабочей характеристике, которая представляет собой зависимость напора (депрессии) от подачи. График этой зависимости отличается для разных типов вентиляторов, но в большинстве случаев, с достаточной для инженерных расчетов точностью, в пределах области промышленного использования вентилятора, он описывается параболой вида

$$h = A - b Q^2, \quad (39)$$

где  $A$  и  $b$  – коэффициенты, которые определяют параметры характеристики вентилятора.

Режим работы вентилятора на вентиляционную сеть определяют координаты точки пересечения характеристики вентилятора и характеристики вентиляционной сети, на которую он работает (если естественная тяга равна нулю). Так, например (рис. 10), пересечение характеристики вентилятора (1-1) с аэродинамической характеристикой сети ( $R_c$ ) в точке  $A$ , определяет величину депрессии вентилятора ( $h_в$ ) и его подачу ( $Q_в$ ).

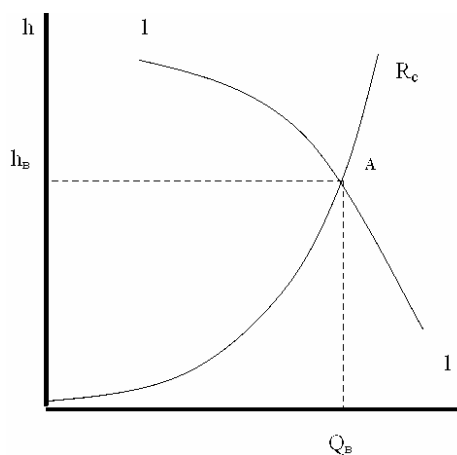


Рис. 10 – Определение режима работы вентилятора

Эти величины можно получить при совместном решении уравнений характеристики вентилятора и сети ( $h=RQ^2$ ), относительно  $Q$ .

$$Q = \sqrt{\frac{A}{R+b}},$$

тогда

$$h = \frac{A}{1+b/R}.$$

Область промышленного использования вентилятора ограничена для каждой рабочей характеристики. Если рабочая точка вентилятора лежит за пределами этой области, то здесь возможна неэффективная (неэкономичная) работа или существует опасность неоднозначности режима работы. Неоднозначность, возможна на характеристиках, которые имеют в верхней части перегибы или «горбы». Это, в первую очередь, свойственно осевым вентиляторам. Под неэффективной работой понимается, в первую очередь, работа с низким КПД.

## 7.2 Совместная работа вентиляторов на общую сеть

**Последовательная работа вентиляторов.** Оценка эффективности последовательной работы вентиляторов на сеть (под эффективностью здесь понимается суммарный эффект совместной работы вентиляторов – увеличение подачи или депрессии шахты), выполняется графо-аналитическим методом, путем добавления характеристик вентиляторов по ординатам и построения общей характеристики (рис. 11). Точка пересечения ( $A$  или  $A^I$ ) этой общей характеристики (3-3) с аэродинамической характеристикой сети ( $R_B$  или  $R_B^I$ ) определит ее режим проветривания. В то же время, проектируя ординату этой точки на характеристики отдельных вентиляторов, можно определить их режимы работы ( $H_1$  и  $H_2$ ), при совместной работе на общую сеть. Последовательная работа вентиляторов выгодна при большом сопротивлении сети (точка  $A$ ). При небольшом сопротивлении (точка  $A_1$ ), эта работа может быть неэффективной.

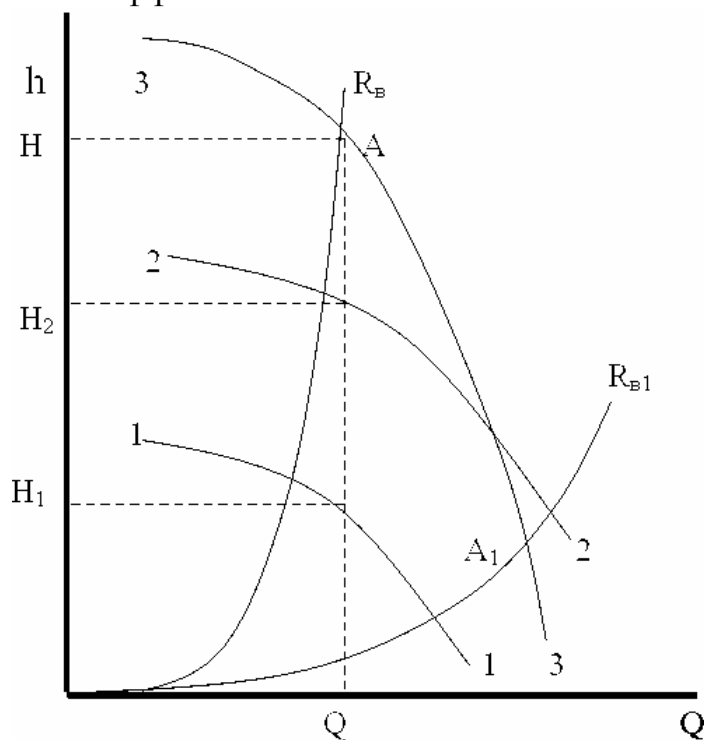


Рис. 11 – Последовательная работа вентиляторов

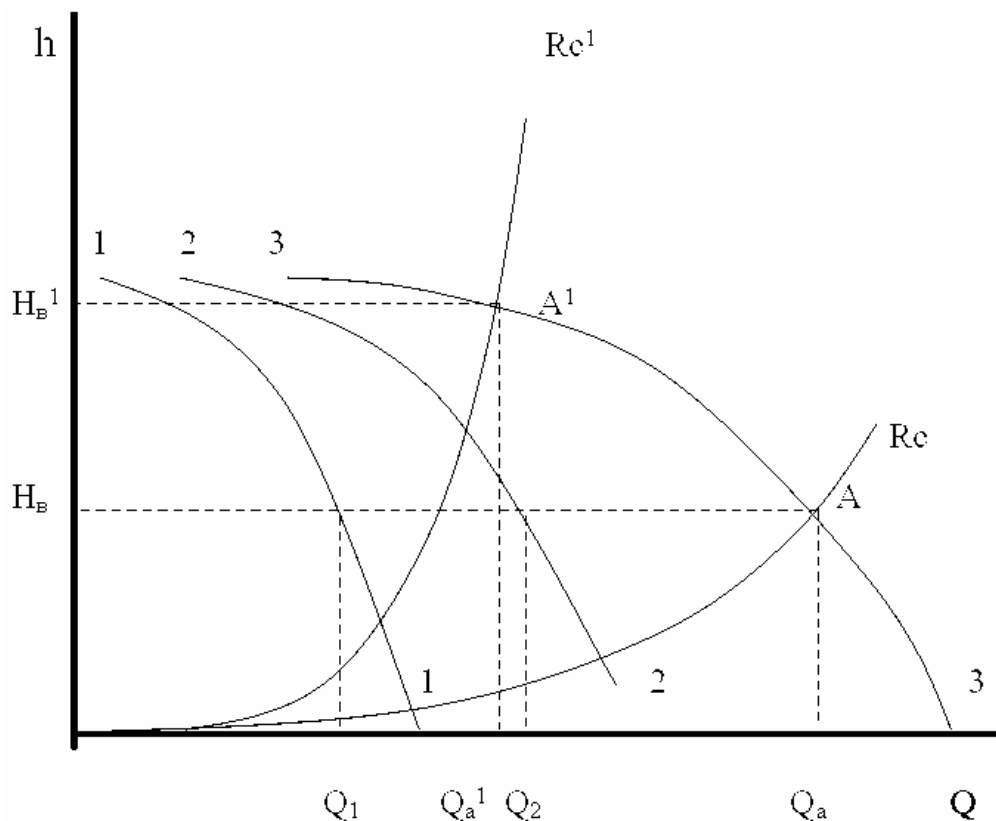


Рис. 12 – Параллельная работа вентиляторов

**Параллельная работа вентиляторов.** При параллельной работе вентиляторов, их суммарная характеристика строится сложением абсцисс всех точек, которые лежат на их рабочих характеристиках (рис. 12, кривые 1-1 и 2-2). Режим проветривания сети определяет точка пересечения суммарной ( $A$  или  $A^1$ ) характеристики (3-3) с аэродинамической характеристикой сети ( $R_c$  и  $R_c^1$ ). Проектируя, абсциссу такой точки на характеристики отдельных вентиляторов (1-1, 2-2), можно определить их режимы работы ( $Q_1$ ,  $Q_2$ ). Параллельная работа вентиляторов выгодна на шахтах с небольшим сопротивлением сети (точка  $A$ ), при большом сопротивлении она неэффективна (точка  $A^1$ ).

## 8. РЕГУЛИРОВАНИЕ РАСХОДОВ ВОЗДУХА В ГОРНЫХ ВЫРАБОТКАХ

### 8.1 Общие положения

В практике эксплуатации угольных шахт, вопрос регулирования воздухораспределения является первоочередным. Службы вентиляции занимаются этими вопросами практически ежедневно.

Все виды регулирования можно разделить на две основных группы:

- изменение режима работы источника тяги (вентилятор, эжектор);
- изменение аэродинамического сопротивления горной выработки.

Первый вид регулирования применяется достаточно редко – один раз в несколько лет. Это происходит в тех случаях, когда, в результате развития шахты, или по другим причинам, увеличивается ее аэродинамическое сопротивление (например, длина горных выработок) и уменьшается подача воздуха в горные выработки. В этом случае, для увеличения подачи воздуха в шахту, увеличивается угол установки лопаток вентилятора – вентилятор «переводится» на вышележащую рабочую характеристику.

Второй вид регулирования применяется постоянно, в течение всего срока службы шахты. Его можно назвать оперативным регулированием распределения воздуха. При этом выделяют «отрицательное» и «положительное» регулирование. Под «отрицательным» понимают регулирование, связанное с увеличением аэродинамического сопротивления горных выработок, а «положительное» – связано с его уменьшением. В практике шахтной вентиляции, для обозначения действий, связанных с увеличением расхода воздуха, иногда употребляют термин «усиления» проветривания.

«Отрицательное» регулирование применяют для увеличения расходов воздуха в одной выработке (группе выработок, выемочном поле или участке), за счет его сокращения в другой выработке или в какой-то части шахты. Для этого используют стационарные вентиляционные сооружения – вентиляционные двери, «окна», перемычки.

«Положительное» регулирование осуществляют, уменьшая сопротивление выработки, убирая из нее перечисленные выше регуляторы, или уменьшая их сопротивление. К «положительному» регулированию можно, условно, отнести и перекрепление горных выработок.

Эти же виды регулирования используются и в аварийных условиях (кроме перекрепления), когда, по каким-то причинам, необходимо уменьшить или увеличить расходы воздуха в какой-то части шахты.

Практические задачи регулирования, связаны, в первую очередь, с выбором места установки регулятора. В некоторых случаях может оказаться, что установка регулятора не даст ожидаемый эффект (в выработке, где установлен регулятор, расход воздуха уменьшится, а ожидаемого увеличения расхода воздуха в объекте регулирования, не произойдет). Чаще всего, причиной этого является «удаленность» объекта регулирования от выработки, в которой установлен регулятор. В результате, эффект усиления вентиляционной струи, как бы «гасится» в вентиляционной сети. Другими словами, все горные выработки и примыкающие к ним выработанные пространства, расположенные между местом установки регулятора и объектом регулирования, играют роль своеобразного демпфера или буфера. «Возмущение», вызванное установкой регулятора, «затухает», по мере удаления от выработки, в которой этот регулятор установлен.

## 8.2 Регулирование воздухораспределения с помощью вентиляционного окна

Вентиляционное окно представляет собой, как правило, прямоугольное отверстие в дверях или перемычке (рис. 13). Его устанавливают в выработке, где необходимо уменьшить расход воздуха.

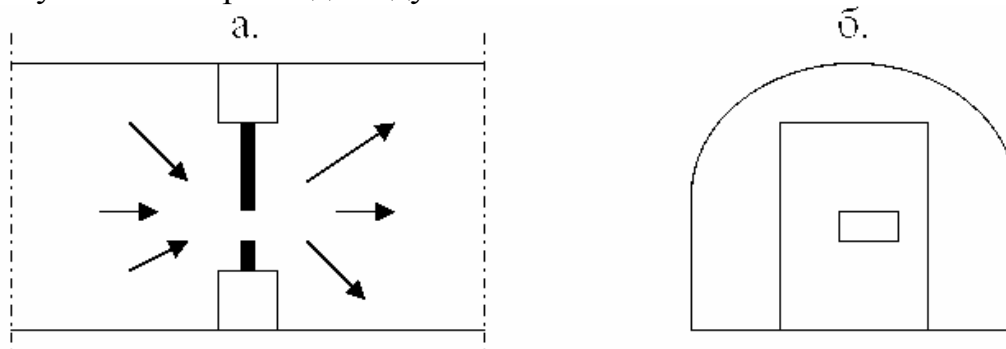


Рис. 13 – Вентиляционное окно в продольном (а) и поперечном (б) сечении выработки

Сечение окна определяется, как правило, предварительно, специальным расчетом. Окно оборудуется задвижкой, что позволяет изменять сечение окна, а следовательно, и расход воздуха в выработке.

При  $S_{ок}/S_g < 0,5$  расчетная формула, для определения сечения окна, имеет вид

$$S_{ок} = \frac{S_g}{0,65 + 2,63S_g \sqrt{R_{ок}}},$$

а при  $S_{ок}/S_g > 0,5$ :

$$S_{ок} = \frac{S_g}{1 + 2,38S_g \sqrt{R_{ок}}},$$

где  $S_{ок}$  и  $S_g$  – площадь сечения, соответственно, окна и горной выработки, в месте установки окна;  $R$  – сопротивление окна.

Сопротивление окна, которое обеспечивает необходимое распределение воздуха, можно определить при моделировании вентиляционной сети на ПЭОМ. В некоторых случаях, когда выработка предназначена для транспортировки грузов, устанавливаются подряд несколько окон-проемов. Сечение окна-проема, в выработке с рельсовым транспортом, должно обеспечивать проход вагонеток. В этой ситуации, необходимо предварительно определить необходимое суммарное сопротивление всех окон, а затем, рассчитав сопротивление одного, по выбранному сечению, определить необходимое количество окон.

Прогноз эффективности регулирования выполняется, с использованием соответствующего программного обеспечения, службой вентиляции шахты или службой ГВГСС.

*Особенности регулирования распределения воздуха на многовентиляторных шахтах.* Для проветривания современных угольных шахт, как правило, используется несколько вентиляторных установок (две и более). В этих условиях возникают некоторые особенности проветривания шахты и регулирования воздухораспределения, связанные с взаимовлиянием работы вентиляторов. В первую очередь, это связано с тем, что в сети горных выработок формируются своеобразные «зоны влияния» вентиляторов. Чаще всего, такая зона содержит в себе группу выработок, проходя по которым воздух проходит только через один из вентиляторов. Эта группа выработок может составить как крыло шахтного поля, так и отдельное выемочное поле или участок. Так, например, при фланговой схеме проветривания шахты (рис. 14), деление шахты на «зоны влияния», возможно уже около выработок ствола.

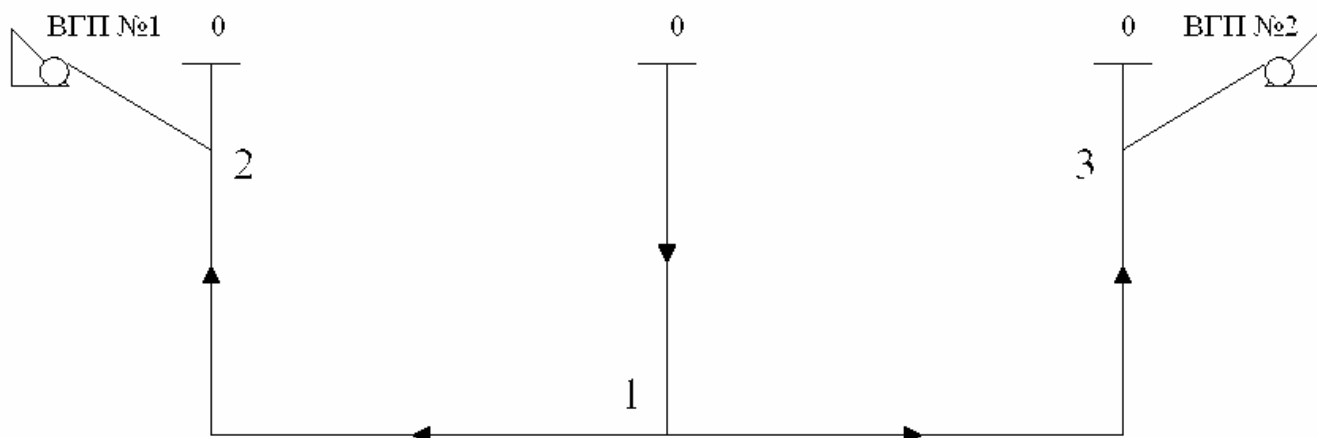


Рис. 14 – Схема проветривания шахты с двумя фланговыми вентиляторами

В такой схеме вентиляции, сокращение внешних утечек (подсосов) воздуха, через устье одного из стволов, с исходящей струей (например, участок 0-2), может привести к уменьшению расхода воздуха в сети («зоне влияния») другого вентилятора (участок 1-3). При этом депрессия этого вентилятора (ВГП №2) увеличится. Таким образом, увеличивая «влияние» вентилятора №1 на проветривание шахты (общее количество воздуха, который входит в шахту по стволу 0-1 увеличится), за счет сокращения утечек воздуха в ВГП №1, увеличивается сопротивление сети для вентилятора №2. Депрессия этого вентилятора увеличится, а подача уменьшится. В то же время, величина утечек воздуха через устье ствола, на котором установлен ВГП №2, также увеличится.

Взаимовлияние вентиляторов, а, следовательно, и величина изменений, которые происходят в их «зонах влияния» зависит от величины сопротивления общего участка 0-1. С его увеличением, уменьшится общая подача воздуха в шахту, но увеличится взаимовлияние. Тогда возникает опасность нарушения устойчивости проветривания в выработках, связанных с общим участком. Это, в первую очередь, относится к тем шахтам, где стволы для свежего воздуха пройдены в центре и на фланге шахтного поля. В этих случаях, в «зону» неустойчивого проветривания могут попасть все выработки, расположенные между стволами со свежим воздухом.

## 9. ВЕНТИЛЯЦИОННЫЕ УСТАНОВКИ И СООРУЖЕНИЯ

### 9.1 Вентиляционные установки главного проветривания

В общем случае, шахтная вентиляционная установка состоит из самого вентилятора (рабочий и резервный), канала вентилятора, диффузора, ляд (шиберов) и оборудования для регулирования положения ляд (шиберов). В зависимости от типа вентилятора, схемы вентиляторных установок могут быть двух основных видов: с одним и двумя обводными каналами. Так, для осевых вентиляторов схема установки, чаще всего, имеет вид как на рис. 15. На рис. 16 показанный упрощенный профиль этой же вентиляторной установки.

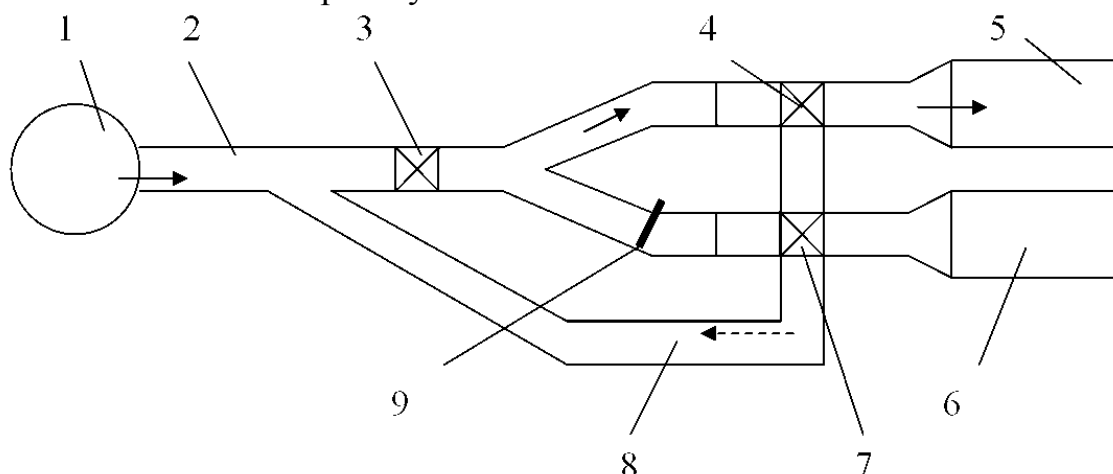


Рис. 15. Схема каналов вентиляторной установки:

- 1 – ствол; 2 – основной канал; 3 – ляды воздухозаборной будки; 4 – ляды обводного канала рабочего вентилятора; 5 – диффузор рабочего вентилятора; 6 – диффузор резервного вентилятора; 7 – ляды обводного канала резервного вентилятора; 8 – обводной канал; 9 – шибер резервного вентилятора

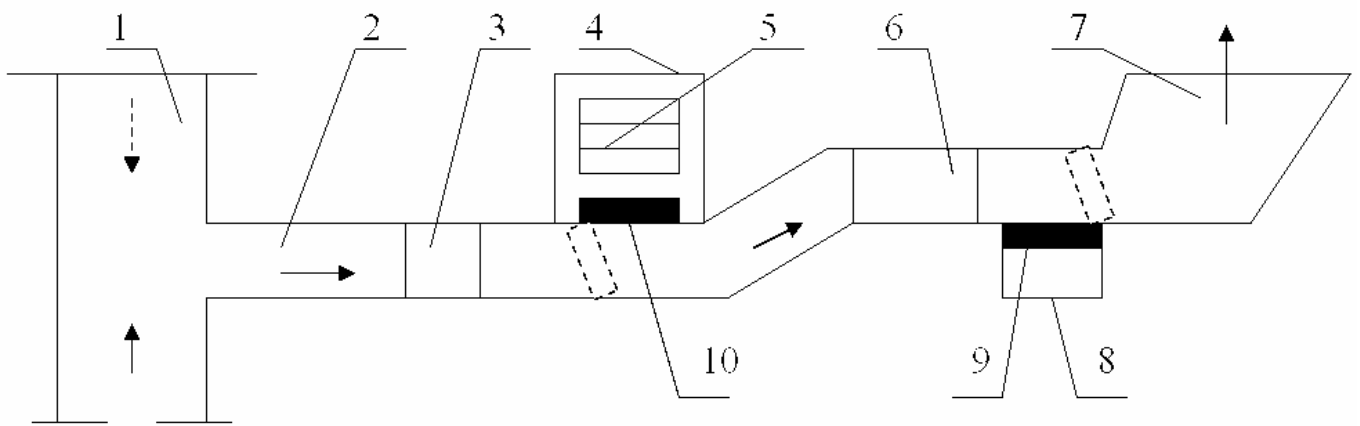


Рис. 16 – Упрощенная схема вентиляторной установки

1 – устье ствола; 2 – основной канал; 3 – соединение основного канала с обводным; 4 – воздухозаборная будка; 5 – окна с жалюзи; 6 – вентилятор; 7 – диффузор вентиляторной установки; 8 – обводной канал; 9 – лядя обводного канала; 10 – лядя воздухозаборной будки

В установках с центробежными вентиляторами (рис. 17) для каждого вентилятора оборудуется свой обводной канал.

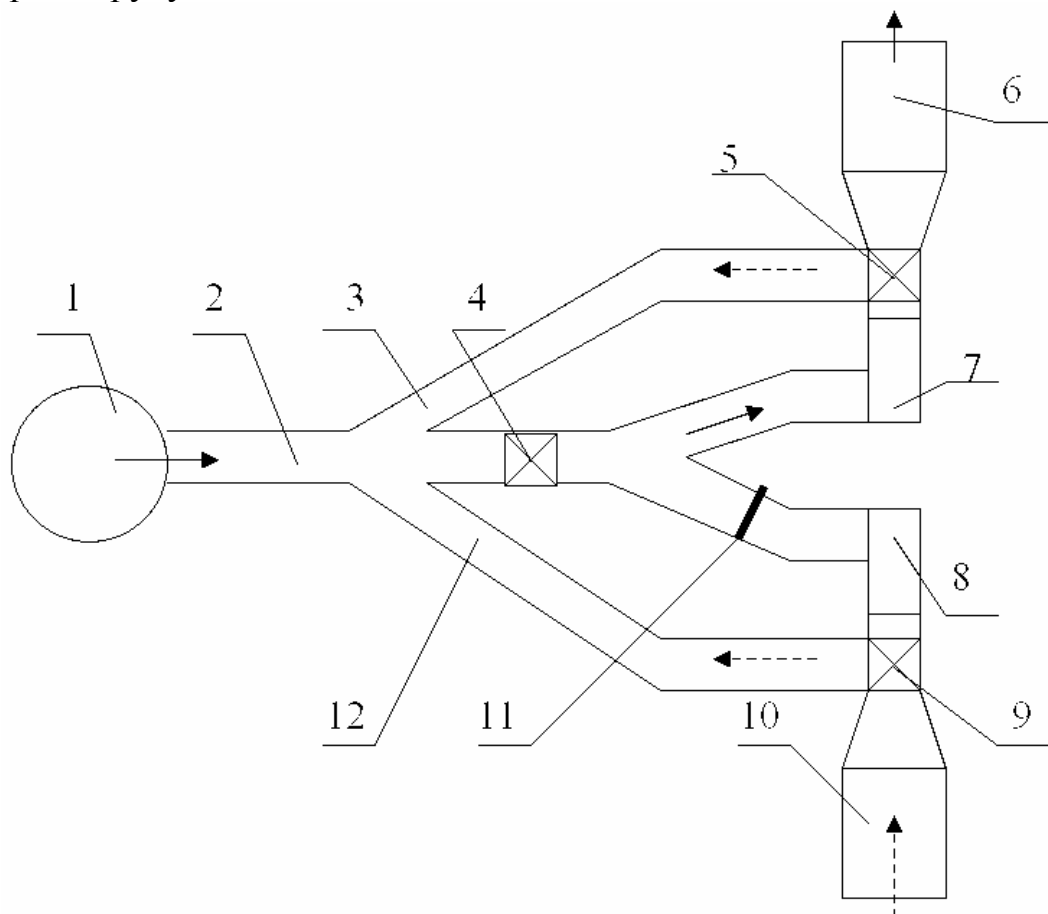


Рис. 17 – Схема вентиляторной установки с центробежными вентиляторами  
 1 – ствол; 2 – канал вентилятора; 3, 12 – обводные каналы рабочего и резервного вентиляторов; 4 – лядя воздухозаборной будки; 5, 9 – лядя обводных каналов; 6, 10 – диффузоры рабочего и резервного вентиляторов; 7, 8 – рабочий и резервный вентиляторы; 11 – шибер.

## 9.2 Вентиляционные сооружения

Все вентиляционные сооружения шахты можно, условно, разделить на две группы: для пропуска вентиляционной струи и для разделения вентиляционных потоков. К первой группе относятся вентиляционные каналы и кроссинги («воздушные» мосты), вторая – перемычки, ляды, вентиляционные двери и шлюзы.

По вентиляционным каналам воздух подводится от стволов к вентиляторам главного проветривания или наоборот – от вентиляторов к стволам. Они должны быть герметичными и иметь небольшое аэродинамическое сопротивление. Герметичность обеспечивает минимальные подсосы (утечки) воздуха с поверхности земли, а уменьшение сопротивления каналов снижает величину депрессии вентилятора, необходимую для обеспечения нормального (аварийного) режима проветривания горных выработок.

Кроссингом (рис. 18) называют вентиляционное сооружение для «перебрасывания» одного потока воздуха (1), через другой (2), в местах их пересечения. По оба бока кроссинга устраивают шлюзы (3), каждый из которых оборудован двумя парами нормальных и «реверсивных» дверей. «Реверсивные» двери препятствуют «закорачиванию» воздуха, при изменении направления движения воздуха в горных выработках. «Закорачиванием» воздуха называют закорачивание вентиляционной струи. Термин «закорачивание» означает, как правило, движение воздуха из выработки, по которой идет свежая струя, в выработку с исходящей струей, по кратчайшему пути. В этом случае, основная часть воздуха, не поступает к объекту проветривания, а идет «накоротко» в выработки с исходящей струей.

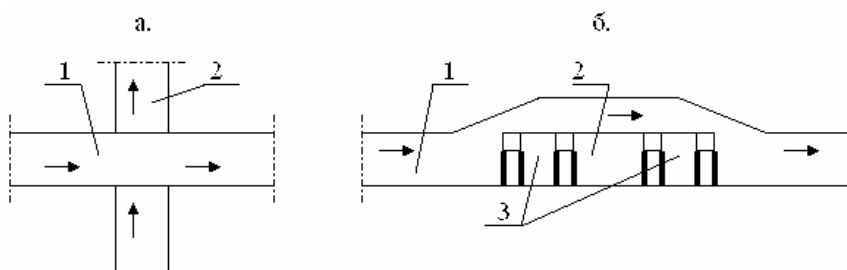


Рис. 18 – Упрощенная схема движения воздуха по кроссингу  
а – схема пересечения выработок; б – схема кроссинга

В нормальных условиях работы шахты. «закорачивание» рассматривается, как недопустимое явление, потому, что на газовой шахте это может привести к загазированию выработок. В аварийных условиях «закорачивание» может предварительно предусматриваться в плане ликвидации аварий и считается аварийным режимом проветривания.

Перемычки служат для прекращения движения воздуха по горным выработкам. Перемычки возводят из разных материалов – дерево, кирпич, бетонит, бетон, гипс, в зависимости от требований герметичности, места установки и назначения. В тех случаях, когда нужна перемычка с повышенной герметичностью, ее устанавливают, предварительно разобрав крепь выработки и сделав круговой вруб. Перемычки из бетона или гипса возводят с помощью опалубки.

Для прохода людей или транспортировки грузов в перемычках делают вентиляционные двери. Каждая перемычка оборудуется двумя видами дверей – нормальными и реверсивными. Две перемычки с дверями образуют шлюз. В



некоторых случаях, при больших перепадах давления, для облегчения открывания двери, в ней оборудуется разгрузочное окно. Если двери используются в качестве регулятора воздухораспределения, то в них может быть предусмотрено специальное отверстие – окно, величина которого определяется специальным расчетом. В некоторых случаях, в выработках, с интенсивным перемещением грузов, устанавливают автоматические двери, которые открываются и закрываются с помощью специальных механизмов.

Пожарные двери устанавливают, как правило, в начале или в конце выработки. Их назначение – предупредить распространение пожара по выработке или предупредить попадание в выработки горящих предметов. Створки и рама этих дверей изготавливаются из металла. Пожарные двери устанавливают в стволах, около стволов, в камерах и наклонных выработках. В выработках, оборудованных рельсовым или конвейерным транспортом, в пожарных дверях предусматривают специальные проемы или окна (они должны закрываться резиновыми фартуками, для уменьшения утечек воздуха через двери). В аварийных условиях пожарные двери могут использоваться в качестве регуляторов расхода воздуха. В некоторых случаях, для разделения вентиляционных струй, используют, так называемые, ляды. Они могут быть как металлическими, так и деревянными, одно- или двустворчатыми. Например, металлические ляды в вентиляционных установках, разделяют всасывающую и нагнетательную части этих установок и используются для реверсирования вентиляционной струи в шахте (рис. 15-17).

## 10. УТЕЧКИ ВОЗДУХА

### 10.1 Общие положения

Одной из особенностей проветривания подземных выработок является наличие потерь воздуха, по пути его движения от устья воздухоподающих стволов к основным объектам проветривания шахты – очистным и подготовительным забоям. Утечки (подсосы) воздуха происходят через выработанные пространства, которые возникают после выемки полезного ископаемого, бутовые полосы, целики, вентиляционные сооружения, уплотняющие устройства. Утечки воздуха, чаще всего, влияют на вентиляцию отдельных выработок, выемочных полей и шахты в целом. Для их компенсации необходимо увеличивать подачу воздуха в шахту. Просачивание воздуха через целики полезного ископаемого и выработанные пространства, с остатками полезного ископаемого, может привести к возникновению эндогенного пожара.

Все утечки воздуха можно разделить на две основных группы: поверхностные (внешние) и подземные (внутренние). Поверхностные утечки (подсосы) воздуха – это утечки через неплотности надшахтных сооружений, вентиляционных каналов, ляды вентиляционных установок, через перекрытия и перемычки в устьях стволов, шурфов и др. Суммарная величина поверхностных утечек (подсосов) воздуха определяется как разница между подачей вентилятора (вентиляторов) главного проветривания, установленного на поверхности, и расходом воздуха, поступающим в шахту. Подземные (внутренние) утечки воздуха – это утечки через вентиляционные сооружения, погашенные выработки, выработанные пространства,

нарушенные целики угля. Их можно разделить на местные и распределенные. К местным утечкам воздуха относятся утечки через вентиляционные сооружения и отдельные погашенные выработки. К распределенным утечкам относятся утечки через выработанные пространства. Эти утечки распределены по длине всей выработки, примыкающей к выработанному пространству или нарушенным целикам угля.

## 10.2 Утечки воздуха через вентиляционные сооружения

Величина утечек воздуха через вентиляционные сооружения, предназначенные для разделения потоков со свежей и исходящей струей воздуха, зависит от перепада давления, через эти сооружения, и качества их изготовления. В общем случае, аэродинамическое сопротивление ( $R_{ym}$ ) пути движения воздуха определяется по известному закону сопротивления для турбулентного режима движения воздуха

$$R_{ym} = h_{ym}/Q_{ym}^2.$$

Места возникновения утечек воздуха зависят от вида вентиляционного сооружения. В глухих перемышках – это места контакта «тела» перемышки с окружающими породами (по периметру выработки). Максимальные утечки воздуха наблюдаются через деревянные перемышки, минимальные, – через бетонные, гипсовые. При прочих равных условиях, величина утечек будет увеличиваться с увеличением периметра перемышки и уменьшением ее толщины.

При проектировании шахты, величина утечек воздуха через перемышки и вентиляционные сооружения нормируется, а аэродинамическое сопротивление определяется, в зависимости от коэффициента воздухопроницаемости и площади перемышки (периметра), с учетом состояния боковых пород, в месте установки перемышки. Расчеты проводятся с использованием разных эмпирических зависимостей. При определении сопротивления вентиляционных дверей учитывается, также, площадь вентиляционных дверей, а для шлюза – количество дверей. Величина нормативных утечек воздуха, через глухие перемышки и вентиляционные шлюзы, находится в пределах, соответственно, 7-42 и 19-82 м<sup>3</sup>/мин. Контроль внутренних утечек воздуха, через вентиляционные сооружения, имеет свои особенности. Например, если величина расхода воздуха достаточно большая (может быть измерена шахтным анемометром), то, в зависимости от условий конкретной выработки, место измерения воздуха должно отвечать специальным требованиям. Желательно, что бы оно было на расстоянии 5-12 b (b – ширина выработки) от вентиляционного сооружения и ближайшего сопряжения с другими выработками. При измерении скорости воздуха перед перемышкой (по ходу воздушного потока), оно должно быть удалено от нее на расстояние не менее 5b, а за перемышкой – не ближе 12b.

Если невозможно измерить скорость воздуха в выработке с вентиляционным сооружением, то величину утечки воздуха определяют по разнице расходов воздуха, которые измеряют в других выработках, связанных с рассматриваемой.

При небольших величинах утечек воздуха, для их измерения, с достаточной для практических целей точностью, можно использовать специальную, легкую (переносную) перемышку. Измерение скорости воздуха, в этом случае, делают в выработке, определяют по формуле

$$Q_{ут} = V S_{ок},$$

где  $V$  – скорость воздуха, измеренная в окне, м/с;  
 $S_{ок}$  – площадь окна в перемычке, м<sup>2</sup>.

### 10.3 Утечки воздуха через выработанные пространства

Расход воздуха через выработанное пространство с откаточного (конвейерного) штрека на вентиляционный, относят к распределенным (рассредоточенным) утечкам (в случае примыкания штреков к выработанному пространству). Их величина может составить 30 % и больше от расхода воздуха, поступающего в начало откаточного штрека. Влияние этих утечек воздуха на содержание метана в лаве и вентиляционном штреке зависит от схемы отработки и проветривания выемочного участка. Величина утечек зависит от перепада давления между откаточным и вентиляционным штреком, схемы проветривания участка, аэродинамического сопротивления выработанного пространства. Максимальные утечки воздуха, как правило, наблюдаются на расстоянии до 50 м от забоя лавы. По мере удаления от лавы утечки воздуха уменьшаются и, на расстоянии 500-600 м, становятся равными нулю. Исследования показывают, что, начиная с расстояния 50 м от лавы, режим движения воздуха на путях утечек близок к ламинарному.

В практике моделирования шахтных вентиляционных сетей, как правило, особенности распределения утечек воздуха через выработанное пространство не учитывают. В некоторых случаях, движение утечек воздуха через выработанное пространство, моделируют одной ветвью параллельной лаве. Сопротивление этой ветви подбирают так, чтобы его величина отвечала соотношению расходов воздуха в лаве и на путях утечек. Общая величина утечек, в пределах выемочного участка, определяется как разница расходов воздуха в начале откаточного штрека и в 15-20 м от окна лавы (сплошная система разработки).

## 11. ПЫЛЕВОЙ РЕЖИМ ШАХТ

### 11.1 Общие положения

Шахтная пыль это совокупность тонкодисперсных твердых частиц органического или минерального происхождения. В горных выработках пыль присутствует в воздухе во взвешенном состоянии или оседает на поверхности выработок. Способность пыли находиться во взвешенном состоянии зависит от ее дисперсности (размеров частиц), удельного веса, а также от влажности, температуры и скорости движения воздуха. В горном деле пыль рассматривается, как профессиональная вредность и как причина взрывов.

Наличие пыли в воздухе вызывает раздражение глаз, дыхательных путей и легких. Ее вдыхание вызывает разные легочные заболевания, известные под общим названием «пневмокониоз» (греч. пневма – дыхание, конис – пыль). Тяжелая форма пневмокониоза – силикоз, вызывается кремниевой пылью и сопровождается уплотнением легочной ткани. Легочное заболевание антракоз (греч. антракон – уголь) вызывается угольной пылью. Главные источники пыли в шахте: места, где происходит бурение, выемка породы или полезного ископаемого, погрузка и

транспортировки породы и полезного ископаемого. Предельно допустимые концентрации (ПДК) пыли угольных шахт приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Допустимые концентрации пыли

Качественная характеристика пыли	Содержание свободной двуокиси кремния в пыли, %	ПДК, мг/м <sup>3</sup> , по общей массе
Породная, углепородная	От 10 до 70	2
Углепородная, угольная	От 5 до 10	4
Антрацитная	До 5	6
Пыль каменного угля	До 5	10

### 11.2 Горючие и взрывчатые свойства пыли

Для воспламенения пыли необходимы два условия: достаточное количество кислорода и источник пламени, с необходимой температурой. Температура воспламенения метано-воздушной смеси и угольной пыли равняется соответственно 650-750 и 700-800 °С. Особенности возникновения и протекания взрыва:

- пыль может взрываться при отсутствии метана;
- взрыв метана может инициировать взрыв пыли (переводит осевшую пыль во взвешенное состояние);
- наличие в воздухе тонкой и сухой угольной пыли снижает нижний предел взрывной метано-воздушной смеси (взрыв возможен при содержании метана < 5 %);
- продукты взрыва смеси с угольной пылью всегда содержат большое количество окиси углерода;
- возможность взрыва пыли зависит от степени ее дисперсности, содержания влаги, в угле и выработке, зольности, выхода летучих веществ, объема пространства, в котором формируется пылевое облако и инициируется взрыв, температуры источника воспламенения;
- трение частиц пыли в облаке может вызывать электрический разряд, который воспламенит пыль.

### 11.3 Факторы влияющие на взрывчатость угольной пыли

*Наличие летучих веществ.* Основные компоненты летучих веществ, которые обуславливают взрывчатость угольной пыли – смолистые вещества, водород, этан и непредельные углеводороды. Степень взрывчатости характеризуется давлением в месте взрыва. С увеличением выхода летучих веществ давление в месте взрыва растет. Различают слабовзрывчатую угольную пыль (содержание летучих веществ ≤ 15 %) и сильновзрывчатую (содержание летучих веществ > 15 %).

*Дисперсность пыли.* Степень взрывчатости пыли растет с увеличением степени ее измельчения. В отдельных случаях, сила взрыва достигает максимума при диаметре частиц < 10 мкм. В шахте, взрывоопасность пыли увеличивается, по мере отдаления от источника пылеобразования. Скорость распространения пламени в пылевом облаке растет с уменьшением размеров частиц пыли, а температура воспламенения – снижается.

*Состав шахтного воздуха.* Наличие метана, снижает нижний порог взрывчатости пыли. Так, если нижний предел взрывчатости сильновзрывчатой пыли

равен 11-15 г/м<sup>3</sup>, то, при содержании метана 2,5 %, он уменьшается до 3-5 г/м<sup>3</sup>. Для слабозрывчатой пыли (выход летучих 10-15 %) нижний предел равняется 50 г/м<sup>3</sup>, верхний предел – 300-400 г/м<sup>3</sup>.

*Влажность пыли.* Влага действует как инертная добавка. Вода поглощает тепла в 5 раз больше чем инертная пыль, но суспензия пыли, при наличии мощного источника тепла, может взорваться при любой влажности. Поэтому, защитное действие влаги, в основном, оказывается в связывании осевшей пыли.

*Инертные добавки.* Пылевое облако, вместе с угольными частицами, может содержать негорючие частицы минерального происхождения (зола, сланец). Часть тепла, при взрыве, тратится на их нагревание, что снижает температуру пламени. Кроме того, негорючие частицы экранируют теплопередачу и, тем самым, снижают тепловой баланс. Влияние инертных добавок на взрывчатость пыли, в основном, проявляется при выходе летучих веществ < 15 %. При выходе летучих более 30 %, инертные добавки не влияют на взрывчатость угольной пыли.

#### 11.4 Особенности взрыва угольной пыли в шахте

В зависимости от скорости распространения пламени различают:

- спокойное сгорание пыли (воспламенение), при недостаточной концентрации кислорода в смеси;
- вспышка (давление составляет менее  $15 \cdot 10^{-3}$  МПа, а скорость горения 4-10 м/с);
- взрыв (давление составляет  $15 \cdot 10^{-3}$ -1 МПа, а скорость горения 10-330 м/с);
- детонацию (давление составляет 2-5 МПа, а скорость распространения пламени 500-8000 м/с).

В шахте нет условий для возникновения детонации (она требует низкого сопротивления, отсутствия поворотов, сужений, расширений, преград, а также сохранения высокой температуры во фронте пламени для метано-воздушной смеси, например, не ниже 1300 °С, что возможно при малой теплоотдаче из фронта горения). При взрыве угольной пыли перед пламенем со скоростью звука (330 м/с) движется волна сжатия. Ударная волна поднимает осевшую пыль и создает по всей выработке, между фронтом пламени и давления, взрывчатую пыле-воздушную среду, в которой и распространяется пламя. Скорость распространения взрыва уменьшается при наличии местных сопротивлений – сужений, поворотов, тупиков.

При взрыве, тепло от горящих частиц не успевает выделяться в окружающую среду. Это вызывает ускорение реакции и лавинообразной процесс горения. Поэтому, успевают сгореть только тонкодисперсные частицы пыли, а остальная часть поддается коксованию. На оборудовании и поверхностях выработки образуются характерные агломераты ококсованной пыли. Там, где пламя распространялось медленно – агломераты оказываются по оба бока выступающих элементов крепи, при большой скорости пламени – в основном, на наветренной стороне (откуда дует ветер), при очень большой скорости распространения пламени – на подветренной стороне. При взрыве бывает два вида удара воздушной волны: прямой (от расширения воздуха) и обратный (от сжатия продуктов взрыва при снижении их температуры и конденсации паров воды).

## 11.5 Предупреждение взрывов угольной пыли

Комплекс мер, который предупреждает возникновение взрывов и препятствует их развитию, содержит в себе три основных группы мероприятий.

Профилактика образования пыли и пылевого облака:

- использование машин и механизмов, которые обеспечивают минимальное пылеобразование в процессе добычи угля;
- предварительное увлажнение пластов угля;
- орошение мест пылеобразования и осевшей пыли;
- эффективная вентиляция горных выработок;
- очистка от пыли транспортных и вентиляционных выработок;
- оборудование скиповых подъемов в стволах с исходящей вентиляционной струей;
- расположение обогатительных фабрик, с учетом места закладки воздухоподающих стволов шахты.

Профилактика воспламенения пыли:

- применения предохранительных ВВ, искробезопасных средств взрывания, взрывобезопасного электрооборудования и шахтных светильников;
- запрещение использования открытого огня в шахте и курения.

Мероприятия, которые обеспечивают локализацию или подавление взрывов включают осланцевание выработок и установку сланцевых или водяных заслонов.

Осланцевание выработок – искусственное повышение зольности отложившейся пыли, за счет добавления у нее стандартной инертной пыли. Для осланцевания горных выработок, в основном, используется пыль из известняка и глинистого сланца. Она не должна слеживаться и поглощать влагу.

При сланцевой взрывозащите должны проводиться побелка и осланцевание выработок, установка сланцевых заслонов.

Сланцевый заслон представляет собой ряд полок, которые располагаются поперек выработки, у ее кровли. На полках размещается инертная пыль. Ее количество в одном заслоне, по Правилами безопасности, определяется из расчета 400 кг на 1 м<sup>2</sup> площади поперечного сечения выработки, в месте установки заслона.

В водяных заслонах, вместо пыли, на полки устанавливаются сосуды с водой или подвешивают мешки с водой к элементам крепи выработки.

Сланцевыми или водяными заслонами защищают:

- очистные выработки;
- забои подготовительных выработок (при наличии угольного пласта);
- крылья шахтного поля на каждом пласте;
- конвейерные выработки;
- пожарные участки.

Сланцевые и водяные заслоны только локализируют взрыв, а не предупреждают его. Заслоны устанавливаются на поступающей и исходящей струях защищаемого участка. Заслоны устанавливаются в горизонтальных и наклонных выработках с углом наклона до 18°. Общая длина заслона не должна быть менее 30 м для водяных заслонов, и 20 м для сланцевых.

Сланцевые заслоны должны устанавливаться на расстоянии не менее 60 м и не более 300 м, водяные заслоны – не менее 75 м и не более 250 м от забоев очистительных и подготовительных выработок, сопряжений участков выработок,

с другими выработками, а также от изолирующих пожар переемычек. Места установки заслонов должны наноситься на планы горных выработок, прилагаемые к плану ликвидации аварий.

## 12. ПРОВЕТРИВАНИЕ ВЫЕМОЧНЫХ УЧАСТКОВ

Понятие выемочного участка, с точки зрения вентиляции шахты, означает определенную систему горных выработок, которая включает очистной забой (лава), откаточные (конвейерные) и вентиляционные выработки и выработанное пространство. Очистные забои являются основными объектами проветривания шахты и, именно в них, наиболее интенсивно происходят процессы газопылевиделения.

При выборе схемы проветривания выемочных участков первостепенное значение имеют вопросы безопасности и обеспечения высоких нагрузок на очистительные забои.

Схема проветривания выемочного участка должна обеспечивать:

- устойчивое проветривание, как при нормальных технологических процессах, так и в случае возникновения аварии;
- способствовать ликвидации аварии и спасению горняков;
- на глубоких шахтах, где действует ряд неблагоприятных факторов – снижение их влияния на рабочих;
- максимальную нагрузку на очистной забой;
- невозможность образования слоевых и местных скоплений метана;
- подачу свежей струи к очистному забою по двум выработкам при отработке выбросоопасных пластов.

Классификация схем проветривания содержит в себе пять признаков. Первый признак – тип. Он определяет степень разбавления вредностей по источникам поступления. Их всего три:

1 тип – последовательное разбавление. Свежая струя воздуха поступает по конвейерному (откаточному) штреку, разбавляет метан, который выделяется при транспортировке угля, потом поступает в очистной забой, разбавляя метан из отбитого угля, пластовых обнажений и частично метан, который выделяется в призабойное пространство из закрепной области; выйдя на вентиляционный штрек струя воздуха разбавляет метан, который выделяется в выработанном пространстве и выносятся на штрек утечками воздуха, кроме того разбавляются газы, образующиеся в результате гниения древесины, работы машин и механизмов, и т.п.;

2 тип – частичное разбавление. Свежая струя поступает по конвейерному (откаточному) штреку, разбавляет метан, который выделяется при транспортировке угля, потом поступает в очистной забой, разбавляя метан из отбитого угля, пластовых обнажений и частично метан, который выделяется в призабойное пространство из закрепного, а дальше поступает в общий исходящий поток воздуха из участка, не принимая участие в разбавлении вредностей, которые выделяются на другом штреке;

3 тип – полное разбавление. Свежая струя поступает в очистной забой, не принимая участия в разбавлении вредностей, а после того, как она омыла очистной забой, идет

в общую исходящую струю крыла шахты, не принимая участие в разбавлении вредностей, которые выделяются из других источников.

Второй признак – подтип. Он определяет направление выдачи исходящего потока воздуха из очистного забоя. Их всего три:

В – выпуск исходящего потока на выработанное пространство;

М – выпуск исходящего потока на массив угля;

К – комбинированный выпуск исходящего потока, когда на выходе из очистного забоя струя разделяется: часть идет на массив, а часть – на выработанное пространство. Достаточно эффективно при высокой метанообильности выемочного участка, когда часть метана отводится по неподдерживаемым выработкам и потом каптируется средствами дегазации. Однако стоит обращать особенное внимание на эффективность работы средств дегазации и опасность скоплений метана на сопряжении штрека и очистного забоя.

Третий признак – класс. Он определяет зависимое или независимое проветривание очистных выработок. Их всего два:

Н – независимое, то есть вентиляционная струя, поступив в очистной забой, омыв его, отводится в общую исходную струю крыла шахты, минуя другие объекты проветривания.

З – зависимое, это проветривание так называемых спаренных лав.

Четвертый признак – подкласс. Он определяет направление движения вентиляционной струи в очистном забое. Их всего три:

в – восходящее движение вентиляционной струи по очистному забою;

н – нисходящее движение вентиляционной струи по очистному забою;

г – горизонтальное движение вентиляционной струи по очистному забою.

Пятый признак – вид. Он определяет взаимное направление движения свежей и исходной струи в пределах выемочного участка. Их всего два:

вт – возвратноточное направление движения, когда свежая и исходящая струи направлены в противоположные стороны;

пт – прямоточное направление движения, когда свежая и исходящая струи направлены одинаково.

Разные варианты схем проветривания представлены на рис. 19. Общее количество вариантов схем, которые учитывают конкретные горнотехнические условия угольного бассейна, шахты или отдельного угольного пласта, составляет около 50. Особенности их применения рассматриваются в «Руководстве по проектированию вентиляции угольных шахт».

С точки зрения моделирования схем вентиляции выемочных участков на ЭВМ, необходимо отметить, что, независимо от схемы, каждая из выработок, которые входят в выемочный участок, должна моделироваться отдельной ветвью. Методика моделирования путей утечек воздуха, в пределах выемочных участков, принимается, в зависимости от задач, решаемых в ходе моделирования и достоверности информации, что позволяет структурировать пути потерь. В общем случае, при решении задач устойчивости вентиляционных струй, в лавах с нисходящим и восходящим проветриванием, расход воздуха через выработанное пространство, которое примыкает к лаве (участок длиной 30-50 м), можно представить в модели, в виде отдельной ветви.



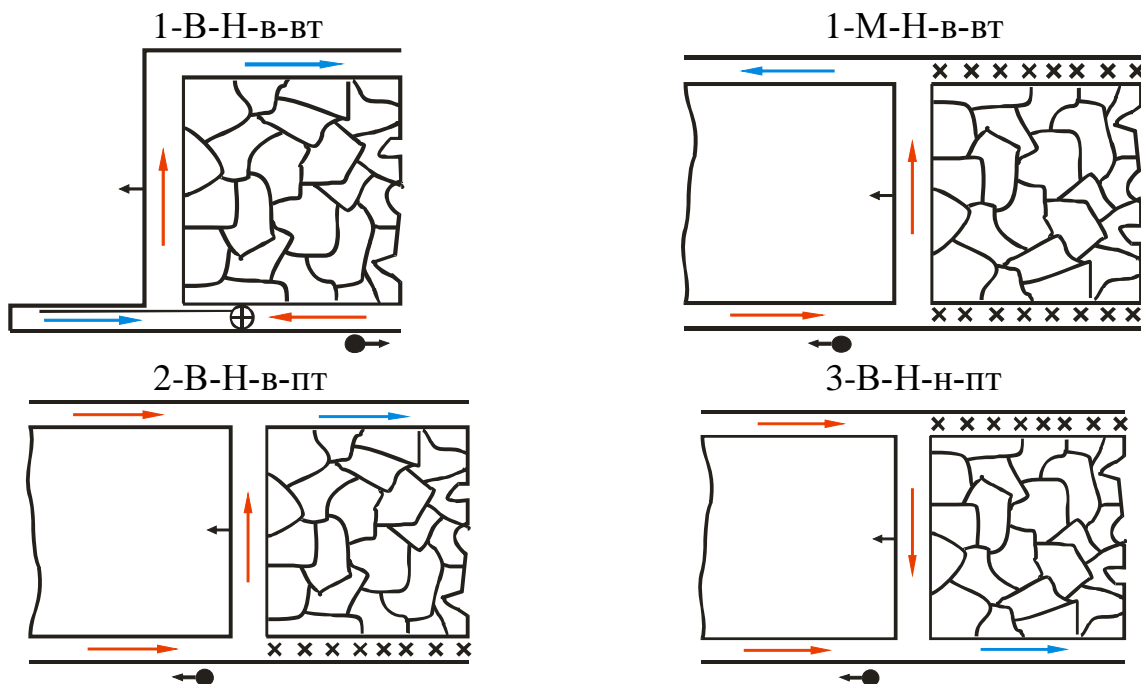


Рис. 19 – Варианты схем проветривания выемочных участков

Эта ветвь является эквивалентом всех утечек воздуха через выработанное пространство, которое примыкает к лаве на протяжении 30-50 м. Примеры таких моделей, для схем типа 1-В-Н, приведенные на рис. 20. Аэродинамическое сопротивление ветви, которая моделирует расход воздуха через выработанное пространство ( $Q_y$ ), примыкающее к лаве, определяется по закону сопротивления

$$R_{y.l} = h_l / Q_y^2,$$

где  $h_l$  – депрессия лавы.

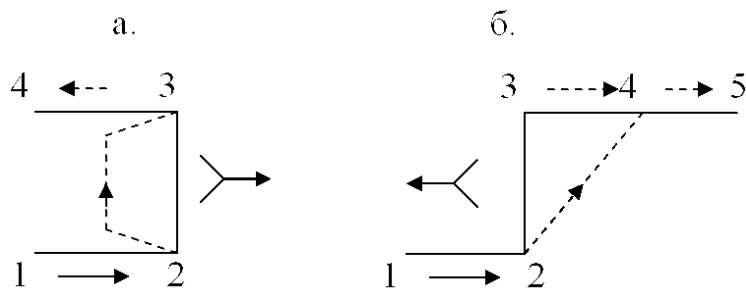


Рис. 20 – Схемы моделирования участков типа 1-В-Н

Более сложные методики моделирования выработанных пространств используются в ходе специальных исследований. В этих случаях, чаще всего, используется, так называемая, «сеточная» модель, когда все выработанное пространство, разбито на ячейки, а каждая сторона такой ячейки, представляет собой отдельную ветвь вентиляционной сети.

### 13. ПРОВЕТРИВАНИЕ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК

#### 13.1 Общие сведения

Понятие «подготовительные выработки» означает, в первую очередь, что это выработки, которые находятся в стадии проходки и, что они проходятся для подготовки к отработке части выемочного поля или шахты (крыло, уклонное поле,

выемочный участок). Тупиковая часть подготовительной выработки, в которой проводятся все технологические операции, связанные непосредственно с ее проходкой, называется забоем.

Все выработки шахты, по характеру проветривания, можно разделить на две группы – сквозные и тупиковые. Сквозные это те, которые проветриваются за счет работы вентиляторов главного проветривания и действия естественной тяги. Тупиковые проветриваются за счет специальных устройств и вентиляторов. Иногда, вентиляцию подготовительных выработок называют «местным проветриванием», а вентиляторы, которые используют для подачи воздуха в тупиковые выработки, – вентиляторами местного проветривания (ВМП).

К вентиляции тупиковых выработок предъявляются, в целом, те же требования, чтобы и к очистным выработкам: обеспечение нормальной физиологической деятельности людей, разбавление и вынос вредных газов.

### 13.2 Вентиляция тупиковых выработок за счет общешахтной депрессии

Этот способ проветривания осуществляется с применением продольных перегородок, которые разделяют выработки по всей их длине, на две части (рис. 21).

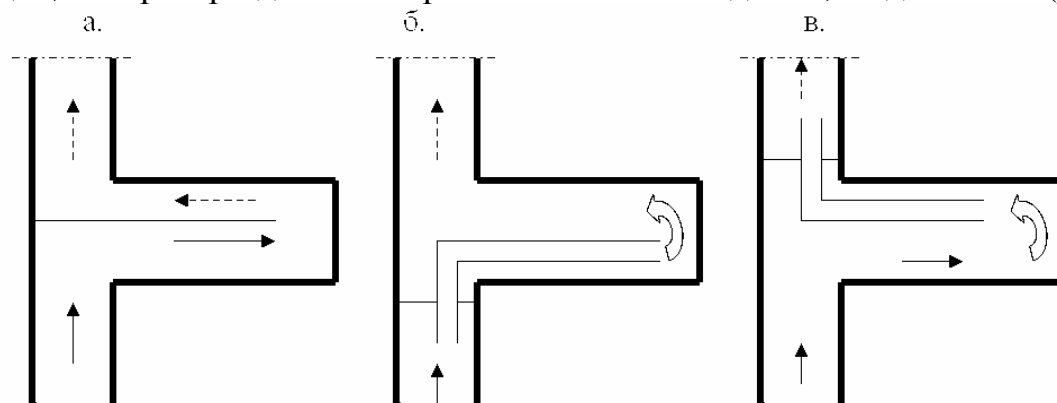


Рис. 21 – Схемы проветривания тупиковой выработки с помощью перегородки (а) и вентиляционной трубы (б, в)

Продольные перегородки рекомендуется применять при небольшой длине выработки (до 60 м), когда в нее необходимо подать большое количество воздуха. Перегородка изготавливается из досок, кирпича, прорезиненной ткани. Основное требование к ней – герметичность.

При проведении парных выработок, они сбиваются между собой через определенные промежутки. В меру продвижения забоев, в сбоях между ними, устанавливают вентиляционные сооружения.

### 13.3 Вентиляция тупиковых выработок с использованием вентиляторов местного проветривания

Применяются следующие способы проветривания: нагнетательный, всасывающий и комбинированный.

Нагнетательный способ проветривания наиболее распространен (рис. 22). Он является обязательным для газовых шахт. Допустимое «отставание» конца трубопровода от забоя определяется по формуле В.Н. Воронина

$$l \leq 4\sqrt{S_g},$$

где  $S_e$  – площадь поперечного перерезу выработки,  $m^2$ .

По Правилами безопасности это расстояние, на газовых шахтах не должно быть больше 8 м.

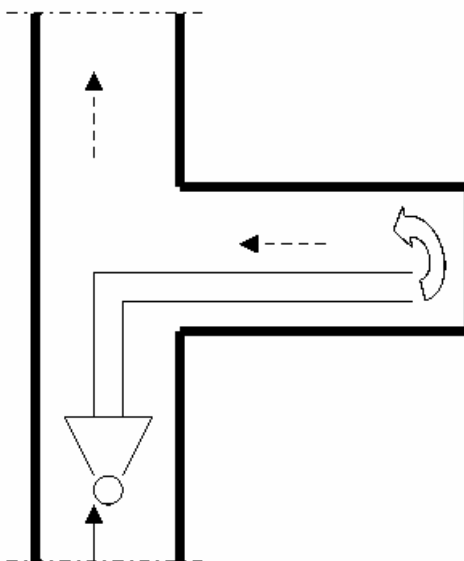


Рис. 22 – Схема нагнетательного проветривания тупиковой выработки

К достоинствам этого способа проветривания, стоит отнести подачу свежего воздуха в забой и снижение концентрации газов в выработке за счет утечек воздуха из трубопровода по длине выработки. В этом случае, утечки воздуха из трубопровода играют положительную роль.

При организации этого способа проветривания, Правила безопасности выдвигают определенные требования к месту установки вентилятора местного проветривания и его режиму работы. Так, ВМП не должен устанавливаться ближе 10 м от устья тупиковой выработки, а его подача не должна превышать 70 % от количества воздуха в месте его установки. При этом предусматривается, что ВМП устанавливается в выработке со сквозным проветриванием. Эти ограничения направлены на предотвращение явления опрокидывания потока воздуха на участке между устьем тупиковой выработки и местом установки ВМП. При этом существует опасность возникновения рециркуляции воздуха и метана.

Всасывающее проветривание можно применять на негазовых шахтах. Его главным достоинством является то, что исходящий воздух удаляется из выработки по трубопроводу. Однако отставание конца трубопровода от забоя приводит к образованию застойной, малопрветриваемой зоны. При всасывающем проветривании используются жесткие (металлические) трубопроводы.

При комбинированном способе проветривания можно применить два вентилятора. Один, с коротким трубопроводом, работает на нагнетание и устанавливается вблизи забоя, а второй – работает на всасывание и устанавливается не ближе 10 м от устья выработки. Этот способ проветривания рекомендуется для применения на негазовых шахтах при скоростной проходке. Он объединяет достоинства всасывающего и нагнетательного способов проветривания. Нагнетательный – обеспечивает активное проветривание призабойного пространства, а всасывающий – удаление исходящего воздуха по трубопроводу.

#### 13.4 Вентиляционное оборудование

Для подачи воздуха в забои подготовительных выработок, используются жесткие и гибкие трубы. Жесткие трубы изготавливают из металла или стеклопластика. Они имеют большую прочность и продолжительный срок службы. К недостаткам жестких труб стоит отнести большую массу, трудности доставки и большое количество стыков. Это усложняет монтаж жестких трубопроводов. Кроме того, наличие большого количества стыков увеличивает потери воздуха из трубопровода. Толщина стенок металлических труб 2-2,5 мм, длина звена 2,5-4 м, диаметр 0,3-1 м и более, масса одного метра 24-70 кг. Звенья труб соединяют с помощью фланцевых болтовых соединений.

Гибкие трубы используют при нагнетательном проветривании. Они изготавливаются из хлопковой или комбинированной ткани и покрываются негорючей резиной. Наиболее распространены трубы с диаметром 0,6 и 0,8 м. Длина одного звена 10 и 20 м, соответственно диаметрам. Звенья соединяют упругими стальными кольцами и хомутами. При работающем вентиляторе местного проветривания стыки звеньев самоуплотняются. Масса одного метра трубы составляет 1,3-2,3 кг.

Текстовинитовые (искусственная кожа из хлопчатобумажной ткани) трубы имеют покрытие из полихлорвиниловой пластмассы. Они имеют малую массу (в сравнении с металлическими) и высокую стойкость к коррозии.

Для уменьшения шероховатости и воздухопроницаемости гибких и жестких труб, в них рекомендуется помещать тонкие полиэтиленовые трубы с меньшим диаметром. Под действием напора, развиваемого вентилятором, полиэтиленовые трубы распрямляются и, прижимаясь к стенкам труб, обеспечивают снижение сопротивления трубопровода в 2-3 раза, практически исключая потери воздуха.

Аэродинамическое сопротивление трубопроводов зависит от качества монтажа и статического давления, которое развивается вентилятором. При слабом натяжении труб и небольшом давлении, величина аэродинамического сопротивления гибкого трубопровода может увеличиться на 25 %. Кроме того, необходимо учитывать, что в реальных условиях трубопровод может иметь несколько поворотов, а сопротивление каждого поворота, равняется сопротивлению 10-20 м трубопровода.

Для подачи воздуха в тупиковые горные выработки применяют, чаще всего, осевые вентиляторы местного проветривания с электрическим или пневматическим приводом. Наибольшее распространение получили вентиляторы типа СВМ, ВМ, ВМП. Для проветривания шахтных стволов и выработок большой длины могут использоваться центробежные вентиляторы ОЦ, ВЦП, ВЦО и ВМЦГ. Подача современных вентиляторов местного проветривания достигает 30 м<sup>3</sup>/с, а депрессия 600-800 даПа.

Обеспечение надежности систем местного проветривания осуществляется с помощью резервирования. Для этого, вместе с основным, устанавливается резервный вентилятор местного проветривания, который, в случае отказа основного вентилятора, автоматически включается в работу. Резервный вентилятор присоединяется к рабочему трубопроводу с помощью специального «тройника», с опрокидным клапаном, и отрезков гибких труб.

### 13.5 Особенности местного проветривания с трубопроводами большой длины

В практике проведения подготовительных выработок возможны два основных варианта организации местного проветривания: первый – когда вентилятор (-ры) устанавливаются в устье тупиковой выработки большой длины; второй – когда длина тупиковой выработки небольшая, но вентилятор установлен на значительном расстоянии от ее устья. В обоих случаях, в зависимости от конкретных условий, можно использовать разные способы проветривания:

- один вентилятор, который работает на трубопровод большого диаметра ( $> 1\text{ м}$ ) или два параллельных трубопровода;
- два ВМП, каждый из которых работает на свой трубопровод;
- каскадная установка вентиляторов (в начале трубопровода, по мере удлинения тупикового выработки, устанавливают последовательно несколько ВМП (рис. 23).

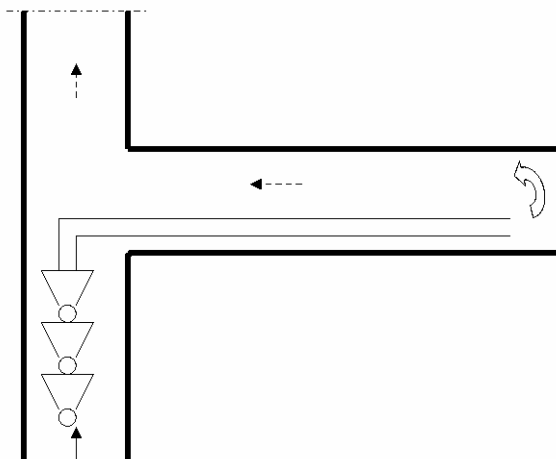


Рис. 23 – Схема каскадной установки ВМП

Использование трубопровода большого диаметра или двух трубопроводов, возможно только при проходке выработок большого сечения, где эти трубопроводы не мешают движению шахтного транспорта. Каскадная установка вентиляторов рекомендуется для газовых шахт, потому, что в этом случае все вентиляторы и пусковая аппаратура устанавливаются в выработках со свежей струей воздуха.

Предварительная оценка необходимого количества вентиляторов в каскаде выполняется по величине необходимой подачи вентилятора (с учетом потерь воздуха по всей длине трубопровода) и депрессии, которая обеспечивает эту подачу. Сначала выбирается вентилятор, рабочая характеристика которого, может обеспечить расчетную подачу, а затем, построив суммарные характеристики 2-3 последовательно работающих вентиляторов (рис. 11), по ординате точки пересечения этой суммарной характеристики с аэродинамической характеристикой трубопровода, можно оценить необходимое количество ВМП в каскаде. В реальных условиях, необходимость добавления в каскад следующего вентилятора контролируется по затрате воздуха, который поступает в забой тупикового выработки.

Применение рассредоточенной схемы установки вентиляторов (ВМП устанавливают на определенном расстоянии один от одного, по всей длине трубопровода) возможно на негазовой шахте. Однако, на практике, при проходке выработок большой длины, место установки каждого вентилятора, необходимо определять экспериментально, потому, что расчетные методы достаточно

приблизительны. Кроме того, при каскадной установке, более простое организовать контроль и обслуживание ВМП.

Иногда, при подготовке которой-то части шахтного поля, проходятся сразу несколько тупиковых выработок. В этих случаях, необходимость применения длинных трубопроводов, может возникнуть из-за невозможности установки нескольких вентиляторов в одной выработке, потому, что суммарная подача всех вентиляторов может превысить величину, которая составляет 70 % от расхода воздуха, поступающего в данную выработку. Так, например, в схеме подготовки уклонного поля (рис. 24) одновременно проходятся две выработки.

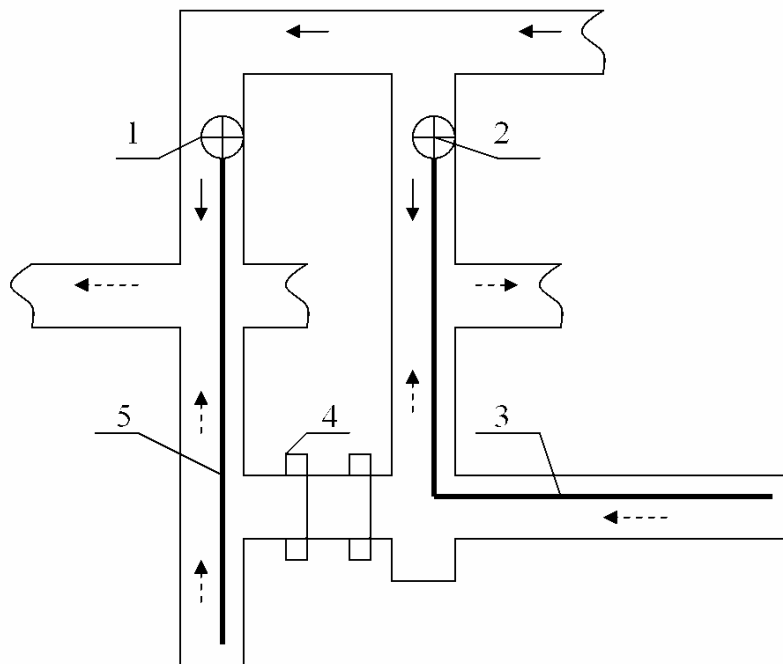


Рис. 24 – Схема проветривания тупиковых забоев  
1, 2 – ВМП; 3, 5 – трубопроводы; 4 – вентиляционные двери

Во всех случаях ВМП установлены не в устье тупиковой выработки, а на некотором расстоянии от этого устья, в местах, где подача ВМП составляет не менее 70 % от количества воздуха в выработке. При этом длина трубопроводов может составлять до 600-800 м, а непосредственно тупиковая часть – всего 50-70 м. В некоторых схемах вентиляции, там, где устье тупиковой выработки примыкает к выработке с исходящей струей воздуха, вентиляционный трубопровод прокладывается через вентиляционные сооружения (двери, шлюзы), которые разделяют эти струи воздуха.

## 14. СПОСОБЫ ПРОВЕТРИВАНИЯ И СХЕМЫ ВЕНТИЛЯЦИИ ШАХТ

### 14.1 Способы проветривания шахт

Способы вентиляции шахт, в зависимости от способа создания необходимого перепада давления (депрессии, компрессии) в горных выработках, разделяются на всасывающий, нагнетательный и комбинированный (нагнетательно-всасывающий). На шахтах Украины, в основном, используется всасывающий способ вентиляции.

Сущность всасывающего способа вентиляции заключается в том, что со стороны всасывающей части вентилятора, при его работе, создается разрежение (пониженное, по сравнению с атмосферным, давление). При этом давление воздуха в любой части шахты меньше атмосферного. При остановке вентилятора, воздух будет еще некоторое время поступать в шахту за счет этой разницы давлений. В дальнейшем, после выравнивания давлений, воздух будет поступать в горные выработки только за счет действия естественной тяги (если она не равна нулю).

Всасывающий способ проветривания рекомендуется на всех газовых шахтах, потому, что повышение давления воздуха, при остановке вентилятора, приводит к частичному уменьшению газовыделения в горные выработки. Этот способ особенно эффективен при фланговой схеме проветривания, когда отдельные части шахтного поля проветриваются разными вентиляторами. Вместе с тем, при фланговой схеме проветривания с несколькими вентиляторами, усложняется регулирование распределения воздуха между отдельными частями шахты.

Всасывающий способ проветривания рекомендуется применять при глубине разработки более 200 м, когда отсутствуют аэродинамические связи горных выработок с поверхностью.

К достоинствам нагнетательного способа проветривания относятся: возможность применения одной главной вентиляционной установки для разветвленной шахтной вентиляционной сети, устойчивость работы главного вентилятора и возможность эффективного регулирования распределения воздуха в шахте. Главным недостатком этого способа проветривания является опасность увеличения газовыделения в горные выработки после остановки вентилятора главного проветривания.

Нагнетательно-всасывающий способ проветривания шахт позволяет создавать в вентиляционной сети зоны «нулевого» давления. В этих частях шахты давление в горных выработках равняется атмосферному (давлению на поверхности), в результате чего, отсутствуют утечки воздуха между выработками и поверхностью. При одновременной работе части вентиляторов на нагнетание, а части – на разрежение, в одних выработках создается повышенное (в сравнении с атмосферным), а в других – пониженное давление. Этот способ проветривания рекомендуется во всех случаях отработки самовозгорающихся углей при наличии аэродинамических связей между горными выработками и поверхностью. Недостаток – сложность управления проветриванием.

## 14.2 Схемы вентиляции угольных шахт

Схемы вентиляции, в зависимости от взаимного расположения выработок, по которым подается свежий и удаляется загрязненный воздух, можно разделить на центральные, фланговые и комбинированные.

Центральные схемы, в свою очередь, разделяются на: центрально-сдвоенные и центрально-отнесенные. В первом случае воздухоподающий и воздуховыдающий стволы располагаются в центре шахтного поля (рис. 25). Свежий воздух распределяется на крылья шахтного поля, а затем, проходя по очистным и подготовительным забоям, возвращается к воздуховыдающему стволу. Расстояние между стволами составляет 30-100 м. Эта схема применяется при глубине ведения горных работ больше чем 200 м.

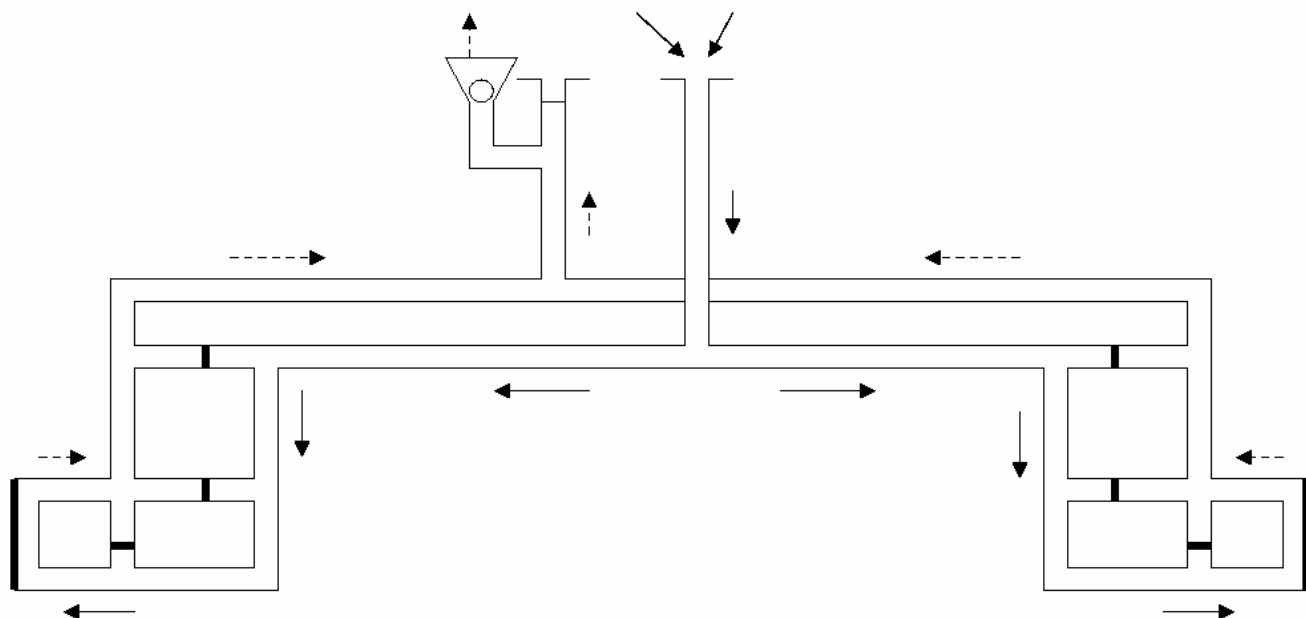


Рис. 25 – Центрально-сдвоенная схема вентиляции шахты

Центрально-отнесенная схема может применяться при отработке верхней части шахтного поля (рис. 26), например, бремсбергового поля. Здесь, стволы могут располагаться на значительном расстоянии друг от друга.

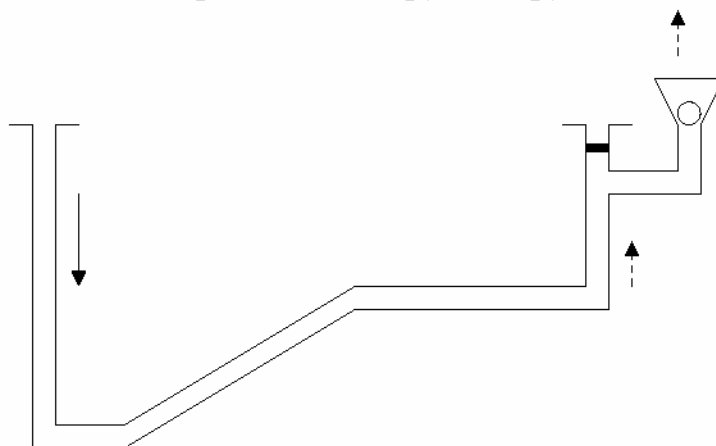


Рис. 26 – Центрально отнесенная схема вентиляции шахты

Преимущества центральных схем – относительно небольшие капитальные расходы, быстрое введение шахты в эксплуатацию, одна вентиляторная установка, незначительные потери угля, в целиках, простота управления проветриванием. Недостатки – высокая депрессия шахт, большие внутренние утечки воздуха, отсутствие резерва возможностей регулирования режима работы вентилятора, с учетом возможного увеличения сопротивления шахтной вентиляционной сети.

При вскрытии шахтного поля в центре и на его границах, применяются фланговые (диагональные) схемы проветривания шахт. Эти схемы проветривания можно отнести к прямоточным. Воздух поступает в шахту в центре шахтного поля, распределяется по отдельным крыльям и, после проветривания очистных забоев, удаляется через фланговые стволы. Среди всех разновидностей фланговых схем вентиляции можно выделить крыльевую, групповую и участковую (рис. 27).



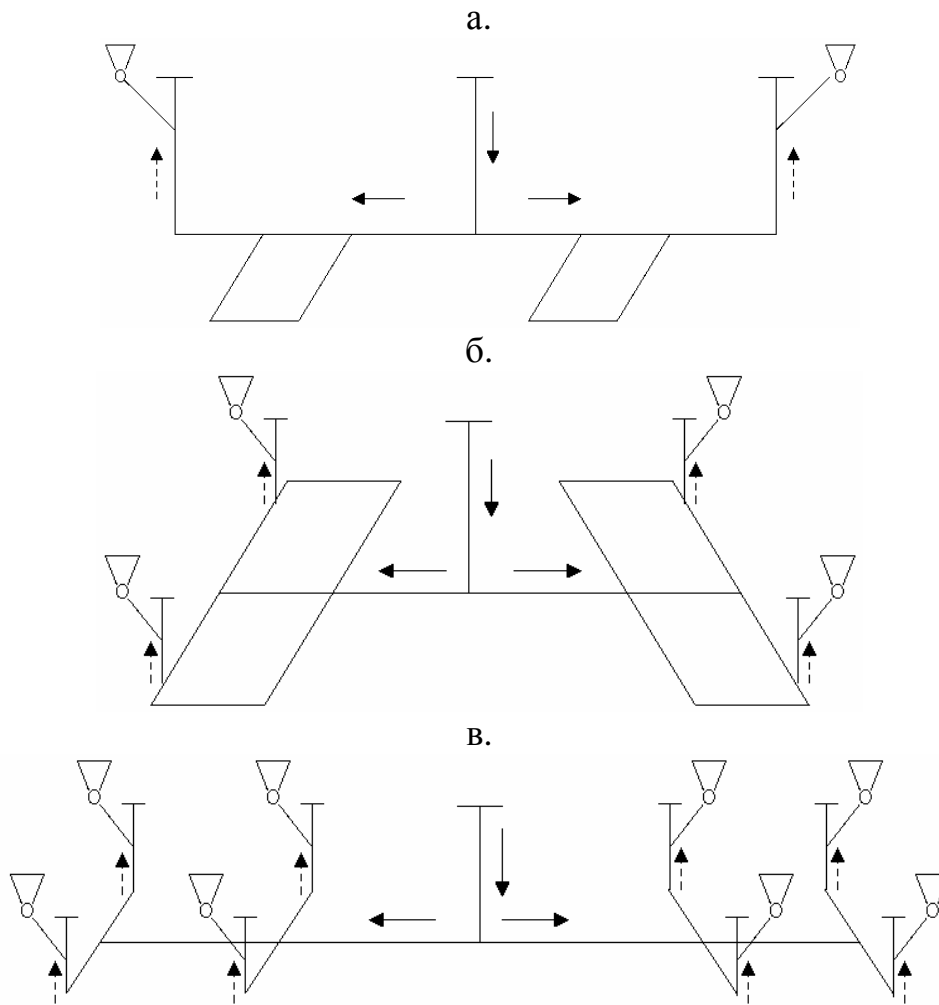


Рис. 27 – Фланговые схемы вентиляции шахт:  
а – крыльевая; б – групповая; в – участковая

К преимуществам фланговых схем вентиляции относятся минимальные потери воздуха, при его следовании от стволов к очистительным забоям, сокращению внешних утечек (подсосов) воздуха, потому, что фланговые стволы, как правило, не используются для транспортировки грузов (в устьях этих стволов можно обеспечить качественную герметизацию), снижения общешахтной депрессии (за счет сокращения пути следования воздуха), меньшие требования к резерву глубины регулирования вентиляторов.

Недостатки фланговых схем – большие капитальные затраты (начало очистительных работ возможно только после проведения выработок до границ шахтного поля), увеличение потерь полезного ископаемого в охранительных целиках около стволов, большое количество вентиляторных установок, трудности общешахтного реверсирования.

В комбинированных схемах вентиляции (рис. 28) используются элементы центральных и фланговых схем. Так, например, один воздуховыдающий ствол может располагаться в центре шахтного поля, а другие – на флангах. При этом исходящая вентиляционная струя из выемочных участков, расположенных в центре шахтного поля, выдается по центральному стволу, а из участков, расположенных на флангах, – по фланговым стволам.

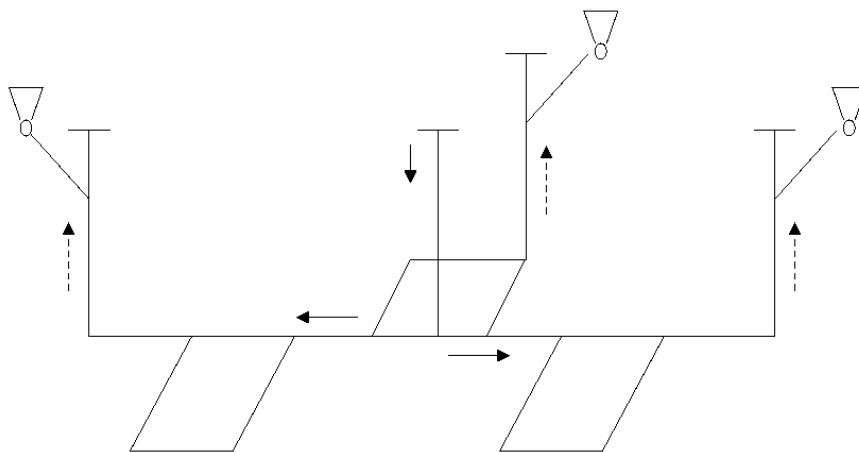


Рис. 28 – Комбинированная схема вентиляции шахты

В комбинированной секционной схеме проветривания, на больших шахтах, каждая секция имеет свой воздуховыдающий ствол, а в центре воздухоподающие стволы и скиповый ствол – общий для всех секций. Выработки каждой секции проветриваются обособленной струей воздуха. На больших шахтах для подачи и отвода воздуха могут использоваться до десятка стволов. К преимуществам комбинированных схем вентиляции можно отнести небольшую депрессию вентиляторов главного проветривания, повышение надежности проветривания отдельных участков шахты, простота регулирования распределения воздуха в пределах отдельных участков, большое количество запасных выходов из шахты. Недостатки этих схем – сложность вентиляционной сети, сложность общешахтного регулирования распределения воздуха и большие капитальные затраты.

## 15. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВЕНТИЛЯЦИИ ШАХТ

### 15.1 Способы и схемы проветривания шахты

Основным способом проветривания считается всасывающий. Он рекомендуется для всех газовых шахт. Нагнетательный – для негасовых или для газовых шахт с метанообильностью не более  $10 \text{ м}^3/\text{т}$ , при отработке первого этажа горных выработок, которые имеют связь, выработанных пространств с поверхностью. Нагнетательно-всасывающий способ вентиляции рекомендуется в случае потребности уменьшить утечки воздуха через выработанные пространства, связанные с поверхностью.

Наиболее распространенная – фланговая схема проветривания. Она рекомендуется при больших размерах выемочных полей, при разработке газоносных, склонных к самовоспламенению пластов. Центральные схемы применяют при небольшой длине (до 2 км) выемочных полей.

### 15.2 Расчет расходы воздуха для проветривания шахты

Расход воздуха, необходимый для проветривания шахты ( $Q_{ш}$ ), состоит из суммарных расходов воздуха, которые идут на проветривание выемочных участков ( $Q_{вч}$ ), тупиковых выработок ( $Q_{т.в}$ ), погашаемых выработок ( $Q_{пог.в}$ ) и поддерживаемых ( $Q_{под.в}$ ) выработок, камер ( $Q_k$ ) и утечек воздуха ( $Q_{ум}$ ), через вентиляционные сооружения, за пределами выемочных участков

$$Q_{ш} = 1,1(\Sigma Q_{уч} + \Sigma Q_{т.в} + \Sigma Q_{ноз.в} + \Sigma Q_{под.в} + \Sigma Q_{к} + \Sigma Q_{ум}).$$

Величина  $Q_{ш}$  при проектировании новой шахты должна удовлетворять условию

$$Q_{ш} \geq 133,3(\Sigma I_{уч} + \Sigma I_{т.в} + \Sigma I_{см} + \Sigma I_{о.в}).$$

Величины абсолютных средних газовыделений для выемочных участков ( $\Sigma I_{уч}$ ), тупиковых выработок ( $\Sigma I_{т.в}$ ), из старых выработанных пространств ( $\Sigma I_{см}$ ), погашаемых и поддерживаемых выработок ( $\Sigma I_{о.в}$ ) определяются на основании прогноза метанообильности по метаноносности угольных пластов.

Для действующих шахт должно выполняться условие

$$Q_{ш} \geq \frac{100k_{н.ш}}{C - C_0} \Sigma \bar{I}_{исх},$$

где  $k_{н.ш}$  – коэффициент неравномерности газовыделения в шахте; для Днепропетровского региона принимается 2,3, а для других – 1,1;

$C$  – допустимая концентрация газа по ПБ в выходных из шахты вентиляционных струях;

$C_0$  – концентрация метана в поступающей струе;

$\Sigma \bar{I}_{исх}$  – абсолютное среднее газовыделение в исходящих из шахты струях, м<sup>3</sup>/мин.

### 15.2.1 Расход воздуха для проветривания выемочных участков.

Для схем типа 1-В в случае выполнения условия

$$\frac{\bar{I}_{уч}}{\bar{I}_{оч}} \leq \frac{k_{ум.в}}{k_{о.з}},$$

расчет ведется по формуле

$$Q_{уч} = Q_{оч} \frac{k_{ум.в}}{k_{о.з}},$$

где  $k_{ум.в}$  – коэффициент, который учитывает утечки воздуха через отработанное пространство в пределах участка выемки;

$k_{о.з}$  – коэффициент, который учитывает движение воздуха по части отработанного пространства, которое непосредственно прилегает к призабойному.

В случае невыполнения условия, а также для схем всех других типов схем, расчет ведется по формуле

$$Q_{уч} = \frac{100\bar{I}_{уч}k_n}{C - C_0},$$

где  $k_n$  – коэффициент неравномерности метановыделения;

$C$  – допустимая, согласно ПБ, концентрация метана в исходной струе участка;

$C_0$  – концентрация метана в поступающей струе; для проектируемых участков принимается 0,05 %.

### 15.2.2 Расходы воздуха для проветривания очистных забоев.

Для схем типа 1-М расход воздуха по газовыделению рассчитывается по формуле

$$Q_{оч} = Q_{уч} \frac{k_{о.з}}{k_{ум.в}},$$

а для схем всех других типов, расчет ведется по формуле

$$Q_{оч} = \frac{100\bar{I}_{оч}k_n}{C - C_0}.$$

Расход воздуха по газам, которые образуются при выполнении взрывных работ рассчитывается по формуле

$$Q_{оч} = \frac{34}{T} \sqrt{B_{yz} V_{оч}} k_{o.з},$$

где  $T$  – время проветривания выработки;

$B_{yz}$  – масса ВВ, одновременно взрываемого по углю;

$V_{оч}$  – объем проветриваемой очистной выработки.

Расход воздуха по количеству людей рассчитывается по формуле

$$Q_{оч} = 6n_{чел} k_{o.з}.$$

Расход воздуха при условии оптимальной скорости воздуха по пылевому фактору рассчитывается по формуле

$$Q_{оч} = 60S_{оч.min} V_{онм} k_{o.з},$$

где  $V_{онм}$  – оптимальная скорость воздуха; принимается 1,6 м/с.

Окончательно принимается максимальный результат и выполняется проверка по формуле

$$60S_{оч.max} V_{min} k_{o.з} \leq Q_{оч} \leq 60S_{оч.min} V_{max} k_{o.з}.$$

15.2.3 Расход воздуха для проветривания призабойного пространства подготовительной выработки.

Расход воздуха по газовыделению, когда проходка ведется комбайном или отбойными молотками, рассчитывается по формуле

$$Q_{з.н} = \frac{100I_{з.н}}{C - C_0},$$

а при взрывном способе, по формуле

$$Q_{з.н} = \frac{S \cdot l_{з.мп}}{k_{m.д}} \left[ \frac{71 \cdot I_{з.н.max}}{S \cdot l_{з.мп} (C_{max} - C_0) + 18 \cdot I_{з.н.max}} \right]^2,$$

где  $S$  – площадь поперечного пересечения выработки, м<sup>2</sup>;

$l_{з.мп}$  – расстояние от конца трубопровода до забоя, м;

$k_{m.д}$  – коэффициент турбулентной диффузии; принимается 1, а при  $S > 10$  м<sup>2</sup> – 0,8;

$I_{з.н.max}$  – максимальное метановыделение в забое после взрывания по углю, м<sup>3</sup>/мин;

$C_{max}$  – максимально допустимая концентрация метана в призабойном пространстве после взрывания по углю; принимается 2 %.

Расход воздуха по газам, которые образуются при взрывных работах рассчитывается по формуле

$$Q_{з.н} = \frac{2,25}{T} \sqrt[3]{\frac{V_{BB} \bar{S}^2 l_n^2 k_{обв}}{k_{m.мп}^2}},$$

где  $V_{BB}$  – объем вредных газов, которые образуются после взрывания, л;

$\bar{S}$  – средняя площадь поперечного пересечения выработки, м<sup>2</sup>;

$l_n$  – длина тупиковой части выработки, м;

$k_{обв}$  – коэффициент обводненности выработки;

$k_{m.мп}$  – коэффициент, который учитывает утечки воздуха через вентиляционный трубопровод.

Расход воздуха по количеству людей рассчитывается по формуле

$$Q_{з.н} = 6n_{чел.з.н},$$

где  $n_{чел.з.н}$  – максимальное количество людей в призабойном пространстве выработки.

Расход воздуха по минимальной скорости (согласно ПБ) воздуха рассчитывается по формуле

$$Q_{з.н} = 60V_{н.мин} S.$$

Расход воздуха по его минимальной скорости (в зависимости от температуры и относительной влажности воздуха) рассчитывается по формуле

$$Q_{з.н} = 20V_{з.мин} S.$$

#### 15.2.4 Расход воздуха для проветривания всей подготовительной выработки.

Расход воздуха по газовыделению рассчитывается по формуле

$$Q_n = \frac{100I_n k_{н.н}}{C - C_0},$$

где  $k_{н.н}$  – коэффициент неравномерности метановыделения; для Донбасса принимается 1.

Расход воздуха по количеству людей рассчитывается по формуле

$$Q_n = 6n_{чел.н},$$

где  $n_{чел.н}$  – максимальное количество людей, которые одновременно работают в выработке.

#### 15.2.5 Выбор средств проветривания подготовительной выработки.

Подача вентилятора рассчитывается по формуле

$$Q_в = Q_{з.н} k_{ум.мп}.$$

Давление вентилятора, который работает на гибкий или комбинированный трубопровод рассчитывается по формуле

$$h_в = Q_в^2 R_{мп.г} \left( \frac{0,59}{k_{ум.мп}} + 0,41 \right)^2,$$

где  $R_{мп.г}$  – аэродинамическое сопротивление гибкого трубопровода.

Это координаты расчетной точки на аэродинамической характеристике ВМП. Далее определяются координаты рабочей точки, и проверяется расход воздуха в устье подготовительной выработки.

#### 15.2.6 Расход воздуха для погашаемых и поддерживаемых выработок.

Если погашается выемочный участок, то расход воздуха рассчитывается по фактическому газовыделению. При отсутствии этих данных, расход воздуха принимается как половина расхода, необходимого для проветривания действующего участка.

Для всех других, и для поддерживаемых выработок (те, которые не используются для подачи свежего воздуха и удаления отработанного), расчет ведется по минимальной скорости воздуха.

$$Q_{под.в} = 60V_{мин} S.$$

Величина  $V_{min}$  для проектируемых шахт III категории и выше – 0,25 м/с, кроме транспортных выработок. Для главных транспортных выработок с ленточными конвейерами – 0,7-1,3 м/с. Для поддерживаемых выработок, с длиной не более 30м, с дверями – по нормам утечек.

### 15.2.7 Расход воздуха для проветривания камер.

Необходимый расход воздуха для склада ВМ

$$Q = 0,07 V_{\kappa},$$

где  $V_{\kappa}$  – суммарный объем выработок склада ВМ.

Расход воздуха для зарядных камер ведется по формуле

$$Q_{\kappa} = \frac{31 \cdot 10^{-4} \sum_{i=1}^{n_{\delta}} E_i n_{ai}}{26 - t_{ax}},$$

где  $E_i$  – емкость аккумулятора, А·ч;

$n_{ai}$  – число аккумуляторов в батарее;

$n_{\delta}$  – число одновременное батарей.

При этом должно выполняться условие

$$Q_{\kappa} \geq \sum_{i=1}^{n_{\delta}} 30 n_{\delta_i} k_{\alpha_i},$$

где  $k_{\alpha_i}$  – коэффициент, который учитывает тип заряжаемой батареи.

Для машинных камер и электрооборудования расчет ведется по отдельной формуле.

### 15.2.8 Утечки воздуха через вентиляционные сооружения

Величина утечек воздуха через вентиляционные сооружения за пределами выемочных участков ( $Q_{ут.ш}$ ), рассчитывается как сумма утечек воздуха через глухие перемычки ( $\Sigma Q_{ут.г}$ ), через шлюзы ( $\Sigma Q_{ут.шл}$ ), кроссинги ( $\Sigma Q_{ут.кр}$  – норма утечки через шлюз увеличена в 1,25 раза) и загрузочные устройства ( $\Sigma Q_{ут.заг}$ )

$$Q_{ут.ш} = \Sigma Q_{ут.г} + \Sigma Q_{ут.шл} + \Sigma Q_{ут.кр} + \Sigma Q_{ут.заг}.$$

### 15.3 Подача вентиляционных установок.

Подача вентиляционной установки (внешние утечки-подсосы воздуха рассчитаны по нормам) определяется по формуле

$$Q_{в} = Q_{шл} + \Sigma Q_{ут.вн},$$

где  $Q_{шл}$  – расход воздуха из шахты, который поступает к данному вентилятору;

$\Sigma Q_{ут.вн}$  – утечка (подсос) воздуха в устье ствола и в канале вентилятора.

Если утечки учитываются коэффициентом внешних утечек, то подача вентилятора равна

$$Q_{в} = Q_{шл} k_{ут.вн}.$$

С учетом резерва подачи воздуха

$$Q_{в.р} = 1,14 Q_{в.у}.$$

Нормы внешних утечек (подсосов) отвечают перепаду давления 200 даПа. Для других перепадов они пересчитываются по формуле

$$Q_{ут.вн} = Q_{ут.н} \sqrt{\frac{h}{200}}.$$

При нагнетательном проветривании утечки нужно увеличить на 13 %.

#### 15.4 Расчет депрессии шахты

Максимальная статическая депрессия сети, на которую работает ВГП (депрессия шахты) ограничивается величиной 300 даПа. Для сверхкатегорийных, опасных по выбросам и с мощностью, более 4000 т в сутки – до 450 даПа. На действующих шахтах при доработке запасов последних этажей сроком 15-20 лет и глубине более 700 м и для шахт, которые разрабатывают пласты не склонные к самовозгоранию, допускается – 800 даПа.

Депрессия шахты принимается по максимальной депрессии направления (маршруту) через очистительные выработки.

Депрессия направления определяется по формуле

$$h_n = h_{n.в} + h_{к.в} + h_к + h_{к.к},$$

где  $h_{n.в}$  – депрессия подземных выработок направления, находится как сумма депрессий последовательно соединенных ветвей направления от устья воздухоподающего ствола, до входа в канал вентилятора, с учетом коэффициента 1,1 – местных сопротивлений;

$h_{к.в}$  – депрессия канала вентиляционной установки принимается 0,11  $h_{n.в}$  или по специальным нормативам;

$h_{к.в}$  и  $h_{к.к}$  – депрессии воздухонагревателя и канала воздухонагревателя.

Депрессия лавы рассчитывается по формуле

$$h_{оч} = R_{оч} Q_{оч}^2,$$

где  $R_{оч}$  и  $Q_{оч}$  – соответственно, аэродинамическое сопротивление лавы и расход воздуха в ней.

Для лав с механизированным креплением аэродинамическое сопротивление лавы определяется по формуле

$$R_{оч} = 0,01 r_{100} l_{оч} + \frac{0,0612 (\xi_{вх} + \xi_{вых})}{S_{оч}^2},$$

где  $r_{100}$  – удельное сопротивление лавы длиной 100 м;

$l_{оч}$  – длина лавы;

$\xi_{вх}$ ,  $\xi_{вых}$  – коэффициенты местных сопротивлений входа и выхода из лавы.

Депрессия капитальных и подготовительных выработок рассчитывается с учетом коэффициента ( $k_{н.р.в}$ ) неравномерности распределения воздуха в вентиляционной сети. Для общешахтных выработок он равняется 1,563, а для других 1.

Сопротивление выработок можно рассчитать, используя коэффициент аэродинамического сопротивления и геометрические параметры выработки

$$R = \alpha P_e l_e Q_p^2 / S^3.$$

Депрессия рассчитывается по годам или наиболее характерным периодам развития горных работ. Расчет выполняется для каждого пласта. Максимальная депрессия определяется для предпоследнего яруса в панели, выемочного поля. Ее величина не должна превышать отмеченные пределы.

При принятии максимальной депрессии более 450 даПа, подача воздуха на выемочный участок должна выполняться по двум выработкам – по схемам с обособленным разбавлением шкідливостей, с автоматическими шлюзами между свежей и исходной струей.

### 15.5 Выбор вентилятора главного проветривания

Исходными данными, для выбора ВГП, является необходимая величина его подачи и депрессия, для начального ( $Q_H, h_H$ ) и конечного ( $Q_K, h_K$ ) периодов эксплуатации шахты. Выбор осуществляется по характеристикам вентиляторов (рис. 29), в пределах их области промышленного использования (ОПИ). Рабочие точки, с параметрами  $Q_H, h_H$  и  $Q_K, h_K$ , должны лежать в пределах ОПИ, с учетом резерва и возможности работы вентиляторов с оптимальным коэффициентом полезного действия.

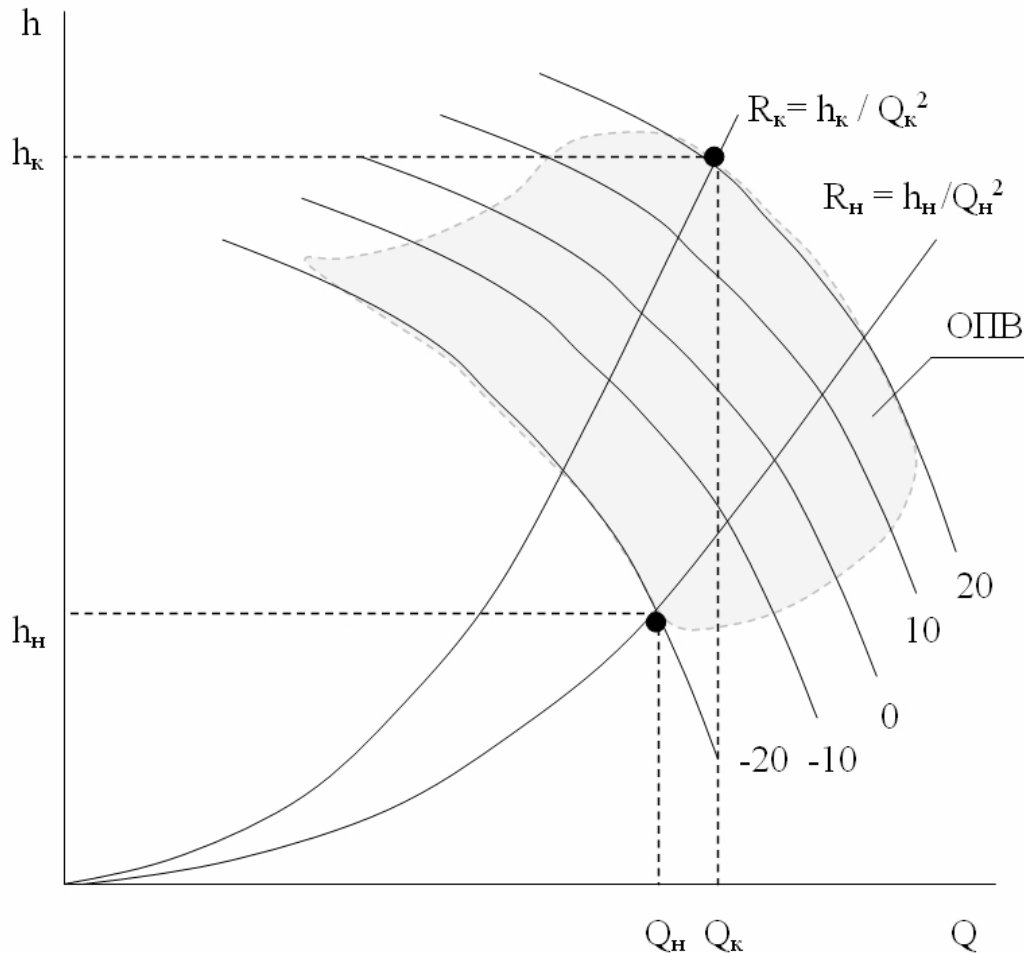


Рис. 29 – Область промышленного использования вентилятора

## 16. ТЕПЛОВОЙ РЕЖИМ ШАХТ

Выемка полезных ископаемых на глубоких шахтах и рудниках сопровождается повышенным нагреванием воздуха, который поступает в рабочие забои. Во многих случаях температура воздуха в горных выработках превышает нормы установленные действующими Правилами безопасности (табл. 2).

Наиболее неблагоприятные условия складываются в очистных и подготовительных забоях.

Основными источниками тепла в горных выработках является горный массив, выемочные и транспортные механизмы, электрооборудование, полезное ископаемое и шахтная вода. Степень влияния каждого из этих источников тепла на температуру воздуха в горных выработках зависит от системы разработки, схемы вентиляции и параметров проветривания, способа управления горным давлением и других



горнотехнических параметров. На глубине 800-1300 м температура воздуха, без применения мероприятий для ее снижения, достигает 32-36°С. Такие условия негативно отражаются на здоровье и безопасности труда горняков, приводят к снижению нагрузки на очистительные забои, темпов проведения горных выработок и, в конечном счете, к ухудшению технико-экономических показателей работы шахты.

Таблица 2

Скорость воздуха, м/с	Допустимая температура, °С, при относительной влажности, %		
	75 и менее	76-90	свыше 90
До 0,25	24	23	22
0,26-0,50	25	24	23
0,51-1,00	26	25	24
1,01 и более	26	26	26

На шахтах Донбасса прирост температуры воздуха в лавах часто превышает 10°С. В этих условиях, обеспечение нормальных условий работы в лавах возможно только при подаче в них воздуха с температурой ниже 10°С. Для обеспечения таких тепловых условий, необходимо применять, на угольных шахтах Украины, системы кондиционирования воздуха, с подземными стационарными холодильными установками. Они оборудуются на отработываемом горизонте, а охлаждение воздуха осуществляется непосредственно, в выработках выемочных участков, с помощью участковых теплообменников. Возможный вариант такой системы показан на рис. 30.

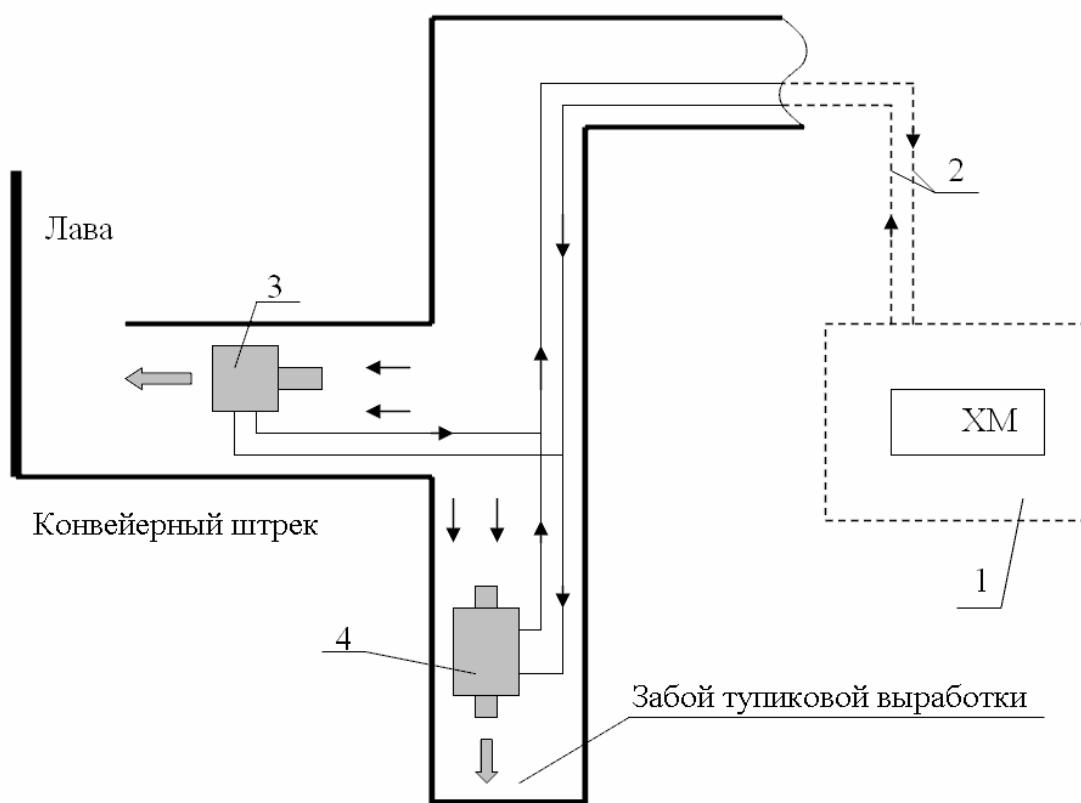


Рис. 30 – Схема системы подземного кондиционирования воздуха:

- 1 – холодильная машина; 2 – трубопроводы с хладоносителем;
- 3 – штрековый воздухоохладитель; 4 – тупиковый воздухоохладитель

В дополнение к участковым воздухоохладителям, эффективным способом снижения температуры в лавах, является рассредоточенная подача охлажденного (до 1-2°С) и осушенного (содержание влаги 2-3 г/кг) воздуха по длине лавы (например, с помощью перфорированного трубопровода).

Система кондиционирования в забое тупикового выработки, проводимой с помощью комбайна, позволяет охлаждать электродвигатель и гидросистему проходческого комбайна, воздух в нагнетательном вентиляционном трубопроводе и воду, в системе пылеподавления (рис. 31). В общем виде, она содержит в себе: вентиляционный трубопровод (1), воздухоохладитель (2), воздуховыпускной патрубков (3), устройство, для охлаждения двигателя комбайна (4), устройство для охлаждения гидросистемы комбайна (5), трубопровод системы пылеподавления (6), водоохлаждающий теплообменник (7), пылеулавливающая установка (8), трубопроводы для отвода (9) и подведения хладоносителя (10). Непосредственно в забой подается 25 % от количества воздуха в трубопроводе. От забоя воздух забирается вентилятором пылеподавляющей установки и выбрасывается за пределы призабойной рабочей зоны.

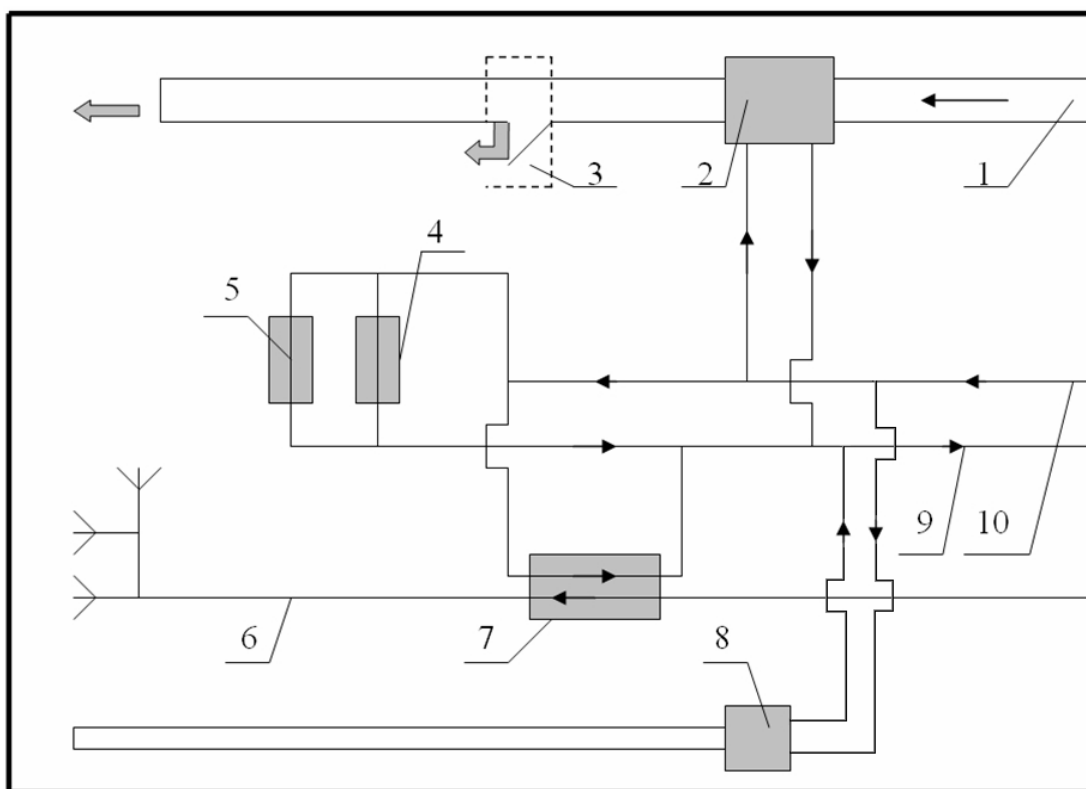


Рис. 31 – Схема кондиционирования воздуха в призабойной зоне тупиковой выработки с комбайновой проходкой

Применение охлажденной воды для пылеподавления локализует тепловыделение из горного массива и разрушенной горной массы. Охлажденная вода снижает тепловыделение двигателя и гидросистемы комбайна. При работе данной системы кондиционирования, в призабойном пространстве тупиковой выработки обеспечивается температура воздуха 23,5-25,4°С.

## 17. УСТОЙЧИВОСТЬ ПРОВЕТРИВАНИЯ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

### 17.1 Общие положения

Устойчивость проветривания – это способность вентиляционной сети сохранять заданные расходы и направление движения воздуха в горных выработках, при изменении сопротивлений отдельных элементов вентиляционной сети.

Неустойчивое проветривание опасно для выработок с источниками газовыделения (очистительные и подготовительные забои, выработки примыкающие к выработанному пространству). Опасность заключается в возникновении угрозы формирования взрывоопасных концентраций метана и взрыва, в случае непредвиденного увеличения сопротивления выработки (обрушение) или его уменьшения (открывание вентиляционных дверей в шлюзе, при доставке материалов).

Опасность опрокидывания вентиляционной струи существует в выработках-диагоналях. Это выработки, в которых, направление движение воздуха может измениться на противоположное, при изменении сопротивления других ветвей. Примеры простого (а) и сложного (б) диагональных соединений приведенные на рис. 32.

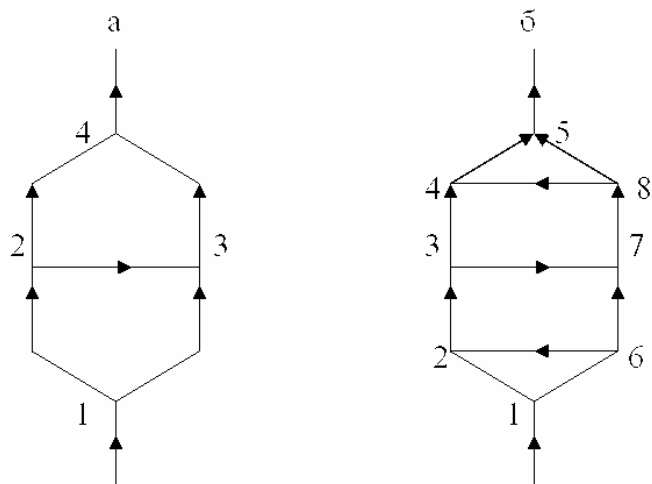


Рис. 32 – Схемы диагональных соединений

Основное правило выявления диагонали: если при движении от начала сети (или ее части) в ее конец можно пройти по какой-то ветви в прямом и обратном направлении, не заходя дважды в одну и ту же ветвь, то такая ветвь является диагональю.

В уклонных полях, с двумя воздухоподающими выработками, как правило, все участки воздухоподающей наклонной выработки, связанной сбойками с исходящей струей, являются диагоналями. Кроме того, диагоналями являются все сбойки между выработками с одинаковым направлением движения воздуха. В зависимости от особенностей соединения горных выработок в вентиляционной сети, все диагонали можно разделить на три группы: между выработками со свежей и исходной струями, между двумя со свежими потоками воздуха и между двумя выработками с исходящими потоками. Наиболее опасными являются диагонали между выработками со свежим и исходящим потоками воздуха.

Все горные выработки, которые составляют шахтную вентиляционную сеть, по их влиянию на расход и направление движение воздуха в конкретной выработке

(диагонали) разделяются на опасные по увеличению сопротивления и опасные по уменьшению сопротивления. К первым относятся ветви, по которым воздух подводится к началу диагонали и отводится от конца этой выработки. Например, 1-2, 3-4 (рис. 32 а). Вторая группа представлена ветвями 1-3, 2-4. Все эти ветви, изменение сопротивления которых, может привести к резкому уменьшению расхода воздуха и опрокидыванию вентиляционной струи в выработке-диагонали, называются определяющими. Влияние определяющих ветвей на режим проветривания диагонали зависит от удаления этих ветвей от диагонали.

Определение устойчивости по расходу и направлению движения воздуха выполняется для очистных и тупиковых выработок и выработок с подсвежающими потоками на выемочных участках. Оценка устойчивости по направлению должна проводиться также для выработок, с утечками воздуха через вентиляционные сооружения, между выемочными участками.

Схемы проветривания, по степени устойчивости, разделяются на три категории.

Первая – с высокой степенью устойчивости. Это вентиляционные сети без диагоналей и с диагоналями, в которых опрокидывание практически невозможно. К этой категории относятся схемы вентиляции, в которых, при изменении сопротивлений выработок, изменение расхода воздуха в очистительных участках не превышает 20 %, у всаса ВМП – 10 % от расчетного расхода воздуха.

Вторая – со средней степенью устойчивости. Это сети с диагоналями, в которых возможно изменение направления движения воздуха в аварийных условиях. В этих схемах изменения расходов воздуха находятся в пределах: для выработок выемочных участков 20-50 %, у всаса ВМП – 10-30 % от расчетного.

Третья – с низкой степенью устойчивости. Расходы воздуха в выемочных участках уменьшаются более чем на 50 %, у всаса ВМП – более 30 % от расчетного. Возможно опрокидывание вентиляционной струи в диагоналях при нормальной работе шахты.

Определение устойчивости проветривания выполняется на заключительной стадии проектирования шахты, участка, а также, при введении в эксплуатацию новых лав, или при изменении схемы вентиляции действующей шахты.

## 17.2 Расчет устойчивости проветривания с применением ПЭВМ

Для расчета может использоваться программа расчета естественного или нормального воздухораспределения. Оценка опасности закорачивания (уменьшение сопротивления выработок с вентиляционными дверями) выполняется путем моделирования уменьшения сопротивления выработки. Величина сопротивления выработки с открытыми дверями определяется по результатам измерений в шахте, или рассчитывается. Это сопротивление определяется как сумма, которая состоит из сопротивления выработки и сопротивлений проемов открытых дверей. Для вентиляционных сооружений сопротивление открытых дверей (шлюзов) принимается в 100 раз меньше нормального (сопротивление открытых дверей можно определять по формуле для вентиляционного окна). Величина максимального увеличения сопротивления выработок выемочного участка составляет: вентиляционной – в 7 раз, транспортной и лавы – в 15 раз.

После моделирования распределения воздуха, с измененными параметрами горных выработок, анализируются результаты расчетов и определяется категория устойчивости схемы проветривания.

### 17.3 Экспериментальная оценка устойчивости проветривания

При экспериментальной оценке опасности нарушения устойчивости проветривания выработок выемочного участка, в первую очередь, исследуются последствия возможного закорачивания вентиляционных струй, через вентиляционные сооружения, расположенные в выработках, примыкающих к выемочному участку. Так, например (рис. 33), перед сдачей в эксплуатацию выемочного участка 5-3, необходимо проверить последствия закорачивания вентиляционной струи через шлюзы в выработках 2-3 и 5-3.

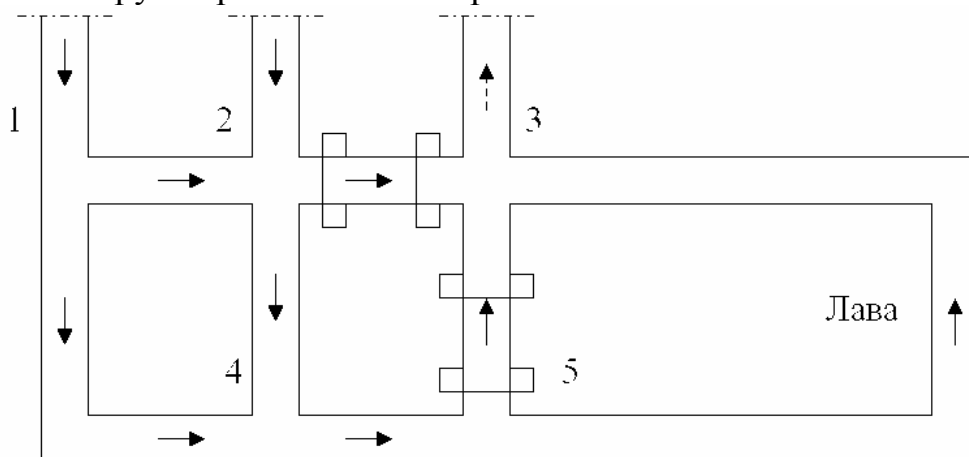


Рис. 33 – Схема вентиляции выемочного участка

Экспериментальная оценка устойчивости на газовых шахтах, связана с определенным риском. Такая оценка проводится только для вентиляционных сооружений (шлюзов). Она проводится по специальному плану, утвержденному главным инженером шахты, в выходные или праздничные дни, после выхода всех людей из шахты (выемочного поля). В перечень мероприятий, которые обеспечивают экспериментальное определение устойчивости, включаются и мероприятия ведения работ, которые обеспечивают безопасность. Результаты опытной проверки устойчивости оформляются актом, который добавляется к паспорту выемочного участка.

### 17.4 Повышение устойчивости проветривания

Основное направление повышения устойчивости проветривания – уменьшение числа вентиляционных сооружений и диагоналей, за счет применения прямоточных схем проветривания выемочных участков с выдачей исходящей струи по фланговым выработкам. Кроме того, необходимо: ограничивать число сбоек между выработками со свежей и исходящей струями воздуха; устанавливать регуляторы расходов воздуха непосредственно в объектах регулирования; вместо кроссингов проходить обходные выработки; при сооружении шлюзов, предусматривать такое расстояние между дверями, которое позволяло бы размещать там минимум 1,5 состава с максимальным количеством вагонеток, которые обеспечивают необходимые объемы доставки грузов, автоматизировать контроль

уровня угля в бункерах; увеличивать сопротивление путей закорачивания за счет уменьшения размеров дверей и установки в этих выработках дополнительных проемов.

## **18. АВАРИЙНЫЕ ВЕНТИЛЯЦИОННЫЕ РЕЖИМЫ НА УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ**

### 18.1 Общие положения

Аварийные вентиляционные режимы (АВР) – это специальные режимы проветривания шахты, группы выработок или отдельной выработки, которые применяются после возникновения аварии. Режим проветривания шахты в аварийной ситуации (аварийный вентиляционный режим) должен обеспечить:

- Выход людей в безопасные места по маршрутам с минимальной длиной загазированных выработок.
- Отвод продуктов горения кратчайшими путями на поверхность.
- Отсутствие опасности появления слоевых скоплений метана.
- Устойчивость проветривания выработок по направлению (в первую очередь для наклонных выработок).
- Снижение интенсивности развития пожара.
- Движение отделений ГВГСС по выработкам со свежей струей воздуха.
- Работу отделений ГВГСС по ликвидации аварии со стороны свежей струи.

Все аварийные режимы проветривания делятся на две основных группы: общешахтные и местные (локальные). К первой группе относятся – общешахтное реверсирование, комбинированный режим и "нулевой" (остановка вентиляторов и проветривание шахты за счет действия естественной тяги). Комбинированный режим применяется при пожаре на вентиляторной установке (всасывающее проветривание шахты) – неаварийные вентиляторы включаются на реверсивный режим проветривания шахты, а аварийный – останавливается.

В группу местных АВР можно включить: повышение устойчивости проветривания (при пожаре в наклонной выработке), местное реверсирование, "закорачивание" вентиляционной струи и направленную рециркуляцию пожарных газов. К местным режимам относится также, уменьшение или увеличение расхода воздуха в аварийном участке.

### 18.2 Общешахтные аварийные вентиляционные режимы

18.2.1 Общешахтное реверсирование вентиляционных струй. Под общешахтным реверсированием вентиляционных струй, как правило, понимается изменение направления движения воздуха во всех выработках шахты. Переход проветривания шахты на этот режим осуществляется двумя способами: изменением направления вращения колеса вентилятора (реверсивные вентиляторы типа ВОД) или с помощью ляд и обводных каналов вентиляторной установки.

Главная задача этого аварийного вентиляционного режима – предотвратить распространение продуктов горения по горным выработкам и, тем самым, обеспечить безопасные условия эвакуации горняков на поверхность.

Применение этого режима проветривания предусматривается при возникновении пожара (взрыва) в пределах определенной группы выработок – в так называемой, зоне реверсирования. Согласно действующих "Правил безопасности...", в зону общешахтного реверсирования, обязательно должны включаться воздухоподающие стволы и их околоствольные дворы.

Зона реверсирования на каждой шахте определяется самостоятельно, исходя из конкретных горнотехнических условий. Решение, о включении какой-то выработки в зону реверсирования, принимается в основном, с учетом следующих факторов:

- время выхода горняков из зоны распространения пожарных газов, к ближайшей выработке со свежим воздухом, превышает время защитного действия самоспасателя;
- при возникновении пожара в наклонной выработке, не обеспечивается устойчивость вентиляционных потоков (существует опасность их опрокидывания под действием тепловой депрессии пожара, возникновение рециркуляции продуктов горения и, в некоторых случаях, выхода продуктов горения, с высокой температурой на маршруты движения горняков);
- время движения горноспасателей в зоне загазирования превышает время защитного действия респиратора.

Общешахтное реверсирование, как правило, предусматривается в планах ликвидации аварий (ПЛА) на всех шахтах Украины и СНГ. Вместе с тем, при формировании зоны реверсирования, стоит обращать внимание на следующие недостатки этого режима проветривания:

- сопротивление вентиляционных сооружений (двери, шлюзы) уменьшается из-за низкого качества реверсивных дверей;
- герметизация вентиляционных сооружений в устьях стволов (на которых установлены вентиляторы главного проветривания), чаще всего, не рассчитана на реверсивный режим проветривания;
- увеличение сопротивления вентиляционной установки;
- действие естественной тяги, направлена противоположно реверсивной работе вентиляторных установок (наиболее сложные условия возникают в холодное время года);
- на газовых шахтах, после реверсирования, возникает опасность поступления повышенной концентрации метана в очаг пожара.

Суммарное действие первых четырех факторов может привести к тому, что поступление воздуха в шахту уменьшится на 40-50 %; в отдельных выемочных полях – на 50-60 %, а в лавах – на 60-80 %. В некоторых выработках возможна остановка вентиляционной струи. Запаздывание реверсирования вентиляционной струи в отдельных участках шахты (с наклонным залеганием пластов) может достигать 10-20 мин.

Основное влияние на проветривание горных выработок в реверсивном режиме оказывает увеличение величины внешних и внутренних утечек воздуха. Причинами увеличения внешних утечек воздуха является: плохая герметизация шлюзов надшахтного здания (на стволе где установлен ВГП), неплотности, в герметизации дверей для навески скипов, отсутствие породной подушки в бункерах копра,

установка простых (вместо самоуплотняющихся) ляд, неисправность или отсутствие стопорных устройств на лядах в каналах вентиляторов, неплотное закрывание ляд из-за загрязнения каналов угольной пылью. В тех случаях, когда ляд, которая отрезает всасывающую и нагнетательную часть вентиляционной установки, не полностью перекрывает сечение канала, возникает рециркуляция воздушного потока в вентиляционной установке. Сопротивление путей внешних утечек может уменьшиться в 14-62 раз, а величина утечек воздуха может увеличиться до восьмикратного значения.

Основной причиной увеличения внутренних утечек воздуха, при реверсировании вентиляции, является низкое качество реверсивных вентиляционных дверей. Вследствие этого, сопротивление вентиляционных сооружений (шлюзов), при реверсировании, может уменьшаться в 25 и более раз. Это приводит к закорачиванию вентиляционных струй и уменьшению расходов воздуха в объектах проветривания.

Реверсирование вентиляционной струи, на современных шахтах, осуществляется двумя способами: с помощью обводных каналов и изменением направления вращения рабочего колеса вентилятора (реверсивные вентиляторы). Недостатками первого способа является: потери депрессии на всасывающей будке и в обводных каналах вентиляционной установки. Сопротивление вентиляционной установки, после ее перевода в реверсивный режим работы, увеличивается в 2-12 раз, за счет меньшего сечения, большей длины и поворотов обводных каналов. Применение же реверсивных вентиляторов не всегда эффективно, потому что их рабочие параметры в реверсивном режиме работы резко. На большинстве шахт Украины используется первый способ реверсирования вентиляционной струи.

В нормальном режиме работы, действие естественной тяги, на шахтах глубиной более 500 м, как правило, совпадает с работой вентиляторов главного проветривания. При переходе на реверсивный режим проветривания, естественная тяга противодействует работе вентиляторов, уменьшая расход воздуха в шахте. Стоит подчеркнуть, что негативное действие естественной тяги, при общешахтном реверсировании, проявляется в самый ответственный период – когда горняки выходят из загазированных выработок (при пожаре в зоне общешахтного реверсирования). Именно противодействие естественной тяги приводит к запаздыванию реверсирования, а в некоторых случаях (на шахтах разрабатывающих крутопадающие пласты угля) и к остановке вентиляционной струи в удаленных от стволов горных выработках. Это обстоятельство необходимо учитывать при составлении планов ликвидации аварий.

Необходимо также отметить, что, при пожаре в наклонной выработке, с нисходящим проветриванием, и последующем реверсировании, возникает угроза опрокидывания вентиляционных потоков в параллельных выработках и в выработках, которые примыкают к аварийному участку, за очагом пожара (по ходу вентиляционной струи). Таким образом, при составлении ПЛА, необходимо проводить оценку устойчивости вентиляционных струй не только для нормальных условий, но и для реверсивного режима проветривания.

Одной из ошибок, которые часто встречаются, является недооценка опасности для людей, которые находятся, в нормальном режиме проветривания к очагу пожара. Особенная опасность заключается в том, что после реверсирования



продукты горения уже могут содержать высокую концентрацию СО так как возвращаются через очаг пожара. В нормальном режиме, нарастание содержания СО и дыма в воздухе происходит постепенно, люди улавливают запах гари и вовремя реагируют на это. После реверсирования, человек может просто не успеть включиться в самоспасатель. Для предупреждения таких ситуаций необходимо:

- не допускать задержки реверсирования вентиляционной струи;
- помнить о том, что переход вентиляторной установки в реверсивный режим осуществляется не мгновенно (ПБ допускает 10 мин., но в холодное время года, из-за обледенения ляд и реверсивных устройств, эти требования, могут быть не выполнены);
- предусматривать обязательное оповещение людей, которые постоянно находятся в зоне реверсирования, о предстоящем реверсировании вентиляционной струи (кроме оповещения по телефону, необходимо оборудовать звуковую и световую сигнализацию во всех выработках, которые входят в зону общешахтного реверсирования);
- люди, которые находятся в зоне реверсирования, должны включаться в самоспасатели до реверсирования вентиляционной струи.

18.2.2 Комбинированное проветривание шахты. Этот аварийный режим предусматривается в планах ликвидации аварий на шахтах с несколькими вентиляторными установками главного проветривания, которые работают на всасывание. Он применяется при пожаре в вентиляторной установке и возникновении угрозы выхода вентилятора из строя. При этом необходимо придерживаться обязательной последовательности – сначала переводятся на реверсивный режим все вентиляторные установки кроме аварийной, и, только потом, останавливается аварийный вентилятор.

18.2.3 Остановка вентиляторов главного проветривания. Иногда это режим проветривания называют "нулевым". В планах ликвидации аварий его применение не предусматривается. Полная остановка вентиляционной струи на шахте, после выключения вентиляторов главного проветривания (ВГП), практически невозможная, из-за действия естественной тяги. На многовентиляторных шахтах невозможна и синхронная остановка сразу всех ВГП. После остановки всех ВГП возможно опрокидывание вентиляционной струи, в отдельных выработках, под действием естественной тяги. В теплое время года, на шахтах с глубиной стволов до 400 м, возможно опрокидывание вентиляционной струи в стволах.

Основные недостатки:

- в горных выработках (особенно тупиковых) возможно образование опасных скоплений метана;
- возможно произвольное опрокидывание вентиляционных струй в наклонных выработках;
- пожарные газы распространяются в обе стороны от очага пожара.

Этот режим проветривания можно рекомендовать для негазовых (с малым выделением метана) шахт при пожарах в надшахтных зданиях, стволах и примыкающих к ним выработкам, при следующих условиях:

- шахта проветривается одним вентилятором;

- направление движения воздуха, после остановки ВГП, не изменяется;
- выше очага пожара нет аэродинамических связей с воздухоподающим стволом;
- нет угрозы поступления в очаг пожара повышенной концентрации метана.

### 18.3 Местные аварийные вентиляционные режимы

Эти аварийные вентиляционные режимы предназначены для управления проветриванием отдельных выработок или группы выработок, без изменения режимов работы вентиляторов главного проветривания. Чаще всего они применяются в пределах отдельных выемочных полей или участков.

#### 18.3.1 Повышение устойчивости проветривания.

Основу всех рекомендаций, направленных на повышение устойчивости вентиляционной струи, при пожаре в выработке с нисходящим проветриванием, составляют мероприятия направленные на увеличение сопротивления выработок, которые отводят воздух от аварийного участка. Другими словами, необходимо увеличивать поступление воздуха в аварийные выработки за счет установки регуляторов (вентиляционных перемычек или дверей) в других выработках.

При пожаре в выработке с восходящим проветриванием, необходимо увеличивать сопротивление аварийной выработки, устанавливая регулятор ниже очага пожара (сокращая поступление воздуха в очаг горения).

На некоторых шахтах при пожаре в наклонной выработке с нисходящим проветриванием, как правило, предусматривается увеличение сопротивления параллельной наклонной выработки с нисходящим проветриванием. Для этих целей предусматривается использование пожарных дверей, установленных в верхней части всех наклонных выработок. Необходимо помнить, что такое повышение устойчивости эффективно для всех участков наклонной выработки, только в том случае, когда в сбоях, которые связывают эти участки, установлены качественные вентиляционные сооружения (двери, перемычки). Эффективность мероприятий по повышению устойчивости проветривания горных выработок необходимо проверять не только с помощью ПЭВМ, но, и, непосредственно, в шахтных условиях.

#### 18.3.2 Местное реверсирование.

Местное реверсирование – это изменение направления движения воздуха в отдельной выработке или группе выработок. Этот режим применяется для отвода пожарных газов из аварийной выработки в выработку с исходящим потоком воздуха и предотвращения распространения пожара по выработкам, подающим свежий воздух. Возможность осуществления местного реверсирования основана на использовании свойств выработок-диагоналей. В большинстве случаев, для этого необходимо увеличить сопротивление выработок “опасных по увеличению сопротивления” или уменьшить сопротивление выработок “опасных по уменьшению сопротивления” (возможное и одновременное изменение сопротивления выработок, принадлежащих к обеим группам). К “опасным по уменьшению сопротивления”, как правило, относятся выработки с вентиляционными сооружениями (двери, шлюзы, перемычки), а к “опасным по увеличению сопротивления”, практически, все остальные выработки шахты,

проветриваемые активной вентиляционной струей, за исключением тупиковых выработок. Для увеличения сопротивления выработки используют предварительно установленные вентиляционные двери, пожарные двери, переносные или быстровозводимые перемычки (парусные, парашютные, дощатые и т. п.).

В планах ликвидации аварий местное реверсирование предусматривается достаточно редко из-за организационно технических сложности. В оперативной обстановке местное реверсирование может использоваться для обеспечения подходов горноспасателей к очагу пожара.

### 18.3.3 Закорачивание вентиляционной струи.

Понятие “закорачивание”, в практике рудничной вентиляции, означает движение воздуха, кратчайшим путем, из выработок со свежим воздухом, в выработку с исходящим потоком воздуха, через открытые двери шлюза (в аварийной ситуации, можно и через проем, пробитый в перемычке). Применяется с целью сокращения расхода воздуха в аварийной выработке или группе выработок. В выработках, расположенных перед местом закорачивания (по ходу движения вентиляционного потока), расход воздуха может увеличиться, а за этим местом – уменьшиться, вплоть до полной остановки вентиляционной струи (по ходу движения вентиляционной струи, за местом закорачивания). В некоторых случаях возможно опрокидывание вентиляционной струи.

### 18.3.4 Рециркуляция пожарных газов.

Это специальный аварийный вентиляционный режим (способ тушения пожара), который обеспечивает снижение температуры в очаге пожара и прекращение горения, за счет рециркуляции продуктов горения в очаге пожара. Для организации рециркуляции необходимо выделить и изолировать от остальной части шахты простой вентиляционный контур, который включает в себя аварийные выработки. Аварийные выработки должны включать в себя наклонные, или нагретые продукты горения из горизонтальной выработки должны поступать в наклонные. Движение пожарных газов в изолированном контуре осуществляется за счет действия тепловой депрессии пожара. Возможны варианты рециркуляции, когда часть контура, который состоит из горных выработок, заменяется металлическими трубами, а для охлаждения пожарных газов в трубопроводе используется вода. Для повышения эффективности рециркуляции в эту часть вентиляционного контура можно включать вентилятор местного проветривания. В этом случае этот способ вентиляции аварийного участка можно назвать «принудительной» рециркуляцией.

### 18.3.5 Многоразовое реверсирование вентиляционной струи.

Специальный аварийный вентиляционный режим (способ тушения пожара), который обеспечивает снижение температуры в очаге и прекращения горения, за счет многоразового возвращения продуктов горения в очаг пожара. Осуществляется с помощью вентилятора (-ов) местного проветривания, который работает через перемычку. Периодическое включение ВМП должно обеспечивать опрокидывание вентиляционной струи в аварийной выработке (участке) и возвращение продуктов горения в очаг пожара.

## 19. ВЕНТИЛЯЦИОННАЯ СЛУЖБА ШАХТ

### 19.1 Общие положения

Состояние вентиляции требует постоянного, систематического контроля, потому что на шахте, в течение рабочей смены или суток, возможные различные изменения, связанные с заложением новых выработок, погашением старых, установкой или ликвидацией вентиляционных сооружений и т.д. Кроме того, со временем, изменяются геометрические размеры горных выработок – часть из них уменьшается, а часть увеличивается (после перекрепления). Следует также, учитывать, возможность изменения газового режима и мест выделения вредностей в шахте.

Контроль вентиляции шахт, в основном, осуществляют специалисты специальной службы – участки вентиляции и техники безопасности (ВТБ). Они готовят вентиляционный план шахты (схему вентиляции) и проводят его оперативную корректировку, с учетом изменений в шахтной вентиляционной сети. Все изменения в расположении вентиляционных устройств и сооружений, ВМП, направлении движения воздуха, и новые выработки должны отмечаться на схеме вентиляции в течение суток.

По Правилами безопасности систематическому контролю подлежат следующие параметры вентиляционных струй:

- расход воздуха и скорость его движения в горных выработках;
- концентрация кислорода, окиси углерода и углекислого газа, в горных выработках, с учетом особенностей их проявления, в условиях конкретной шахты;
- концентрация водорода в зарядных камерах;
- температура воздуха;
- относительная влажность (при температуре воздуха  $> 20^{\circ}\text{C}$ ).

Кроме того, в шахтах предусматривается контроль депрессии горных выработок и давления в них, параметров вентиляторов главного и местного проветривания, вентиляционных сооружений.

### 19.2 Контроль расходов и скорости движения воздуха

Для измерения скорости воздуха в горных выработках применяются крыльчатые (АСО-3) и чашечные (МС-13) анемометры. В последние годы, распространение получили цифровые анемометры АПР-2.

Для измерения скорости воздуха в главных входящих и исходящих потоках воздуха шахты должны быть оборудованы замерные станции. Измерение скорости воздуха должно проводиться на прямолинейных не загроможденных участках выработки с постоянным (вблизи точки измерения) поперечным сечением. При этом желательно, чтобы точка измерения располагалась не ближе  $12b$  ( $b$  – ширина выработки, м) от начала выработки (по ходу вентиляционной струи) или  $5b$  – до конца выработки (рис. 34). Это значит, что в короткой выработке (участок 1-2), при измерении скорости воздуха возможна большая погрешность. Для такой выработки, расход воздуха необходимо определять по результатам измерений в выработках, примыкающих к ней. Так, например, если для выработки 1-2 не выполняется условие ( $L \geq 17b$ , где  $L$  – длина выработки, м), то измерения скорости воздуха, в

точке № 1, будут выполнены с погрешностью. Расход воздуха в ней нужно определять как разницу расходов воздуха, измеренных в точках № 3 и № 2.

Точность измерений скорости воздуха обеспечивает равномерное, плавное движение анемометра в сечении выработки. Кроме этого, желательно, чтобы во время измерения, на расстоянии 20 м, в обе стороны от замерщика, не велись никакие работы, связанные с перемещением грузов и людей, и изменением сопротивлений вентиляционных сооружений. Измерение скорости воздуха делается не менее двух раз подряд. Если показания анемометра отличаются более чем на 10 %, то делают третье измерение, а скорость воздуха определяют как среднее арифметическое, по результатам трех измерений.

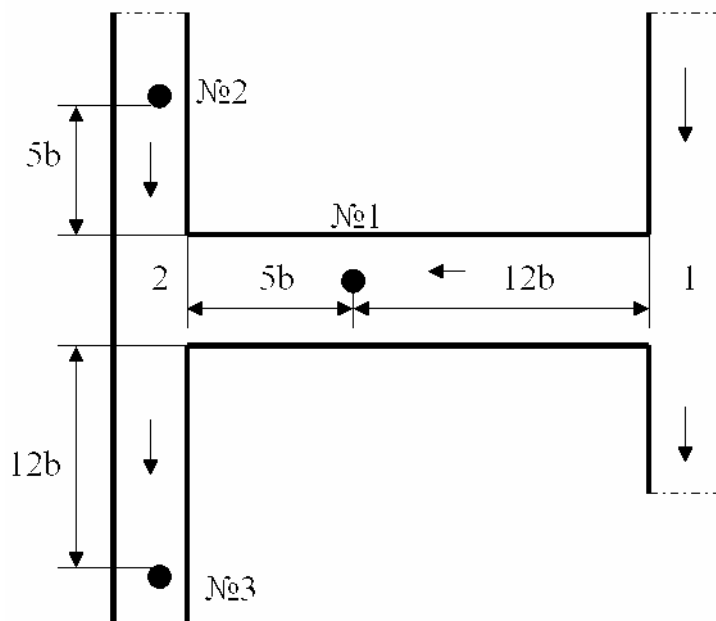


Рис. 34 – Схема измерения скорости воздуха в выработках

Площадь поперечного сечения выработки (рис. 35) определяется по формулам:

для трапециевидной формы поперечного сечения (рис. 35а)

$$S = 0,5 H (a+b);$$

для сводчатой формы поперечного сечения (рис. 35б)

$$S = \frac{\pi b^2}{8} + b \left( H - \frac{b}{2} \right);$$

для арочной формы поперечного сечения (рис. 35в)

$$S = \frac{\pi a^2}{8} + \frac{a+b}{2} \left( H - \frac{a}{2} \right).$$

При деформированной крепи, сечение выработки разбивается на ряд простых фигур и общую площадь определяют, как сумму площадей этих фигур (рис. 35г).

Измерение скорости воздуха ( $> 1$  м/с) можно, также, делать с помощью U-образного манометра или микроманометра и трубки Пито. Соединив трубку Пито с манометром или микроманометром (с помощью резиновых трубок), можно измерять скоростное давление в выработке или трубопроводе. Тогда скорость воздуха рассчитывается по формуле

$$V = \sqrt{\frac{2h_{ск}}{\rho}},$$

где  $h_{ск}$  – скоростное давление, Па;  
 $\rho$  – плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>.

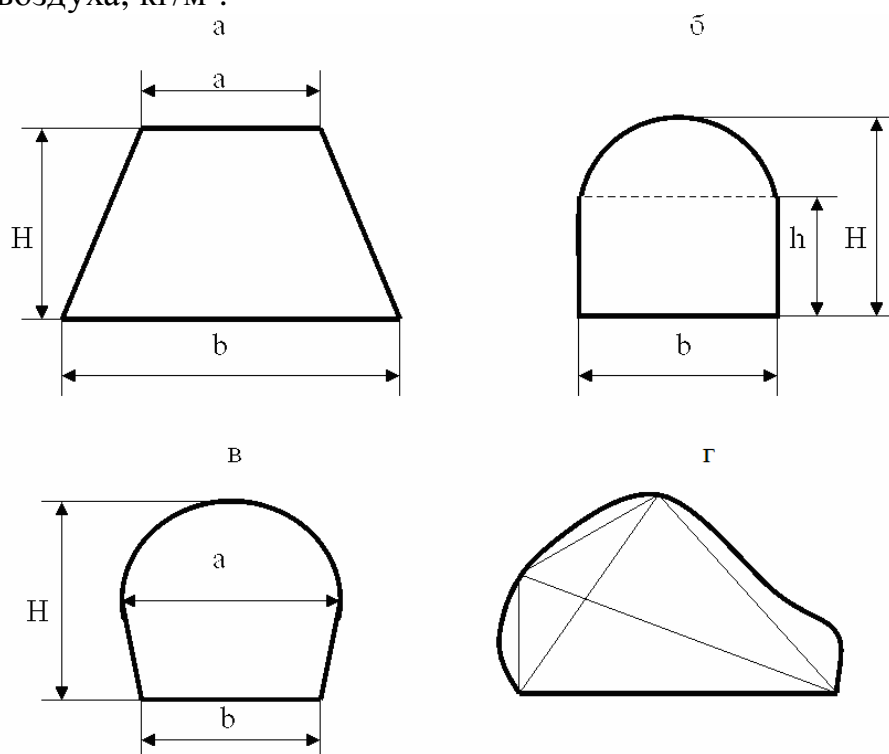


Рис. 35 – Схемы поперечных сечений горных выработок

### 19.3 Измерение температуры, влажности и давления воздуха

Измерение температуры воздуха выполняют ртутными термометрами с ценой деления не более 0,2°С. Относительную влажность воздуха (отношение массы водяных паров во влажном воздухе, к массе водяных паров при полном насыщении ими воздух) определяют с помощью психрометра. Контроль давления воздуха осуществляют с помощью барометров-анероидов и барографов. Измерение депрессии (разницы давлений) выполняют с помощью микроманометра типа ММН. Микроманометр обеспечивает измерение депрессии в диапазоне до 250 даПа.

### 19.4 Депрессионные съемки

Депрессионная съемка – это комплекс работ, которые выполняются для определения депрессии и расходов воздуха в горных выработках, аэродинамических сопротивлений горных выработок и вентиляционных сооружений, величины тепловых источников тяги. Понятие “депрессионная съемка” не полностью отображает виды измерений, проводимых в горных выработках, потому что, кроме депрессии, измеряются и другие параметры (скорость воздуха, температура и т.д.). Более точным является название «воздушно-депрессионная съемка», потому что основная часть измерений связана с определением расходов воздуха и депрессии выработок. Плановые депрессионные съемки проводятся на шахте подразделениями ГВГСС, один раз в три года. Полная депрессионная съемка проводится для всей шахты, а частичная – для отдельной группы выработок. Депрессионная съемка в отдельной выработке состоит из одновременных измерений депрессии и скорости воздуха.

Для определения депрессии выработок используют следующие методы:

- непосредственное измерение депрессии с помощью микроманометра и резиновой трубки;
- вычисление депрессии по измеренным абсолютным давлениям.

Первый метод достаточно трудоемкий. В этом случае, необходимо, между двумя пунктами в шахте, проложить резиновую трубку и, присоединив один из ее концов к микроманометру, определить показание микроманометра. Для этого, чаще всего, используют трубки длиной 100-200 м, поэтому, в длинных выработках, резиновую трубку необходимо несколько раз прокладывать и сматывать. Второй метод основан на использовании микробарометров. Двигаясь по маршруту, последовательно измеряют величину абсолютного давления в отдельных пунктах (например в спряжениях). По разнице давлений, между началом и концом выработки (центры спряжений, где воздух заходит в выработку или выходит из нее) вычисляется величина депрессии выработки. Достоинства: меньшая трудоемкость и возможность измерения депрессии непроходимых выработок. Недостаток – большая погрешность измерений, из-за погрешности приборов или пульсаций давления. Разновидностью этого метода является метод одновременных отсчетов, когда измерения давления делают одновременно несколько человек, в нескольких пунктах, через согласованные промежутки времени.

## **20. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ВОЗДУХОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ**

Аналогично вентилятору, каждая ветвь вентиляционной сети имеет свою аэродинамическую характеристику и аэродинамическое сопротивление. Аэродинамические характеристики ветвей (соединений, вентиляционных участков) называют «приведенными», то есть они являются производными от характеристики вентилятора (в некоторых случаях употребляют также термин «напорная» характеристика). Эти характеристики используют для анализа влияния отдельных факторов на режим проветривания ветвей-выработок, вентиляционных соединений или вентиляционных участков. Наличие у каждой ветви приведенной характеристики вентиляционной сети является свойством вентиляционной сети.

Понимание закономерностей формирования приведенных характеристик в простых вентиляционных соединениях дает возможность понять и визуализировать «механизм» влияния разных факторов на режим вентиляции сети (части сети), ведь каждая приведенная характеристика описывает совокупность всех возможных режимов проветривания соответствующей части шахты.

Уравнение приведенной характеристики имеет вид

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

где  $A$  и  $b$  – коэффициенты приведенной характеристики выработки (части сети).

Физический смысл параметра  $A$  – максимально возможная депрессия ветви (части сети). Иначе говоря, это депрессия выработки, которая имеет бесконечно большое сопротивление. То есть, это выработка, в которой установлена абсолютно плотная перемычка и расход воздуха равен нулю.

Режим проветривания каждой ветви определяют координаты точки пересечения приведенной характеристики и характеристики сопротивления. В

параллельном соединении (рис. 36) это координаты точек «e» и «d». Режим проветривания параллельного соединения определяют координаты точки «с».

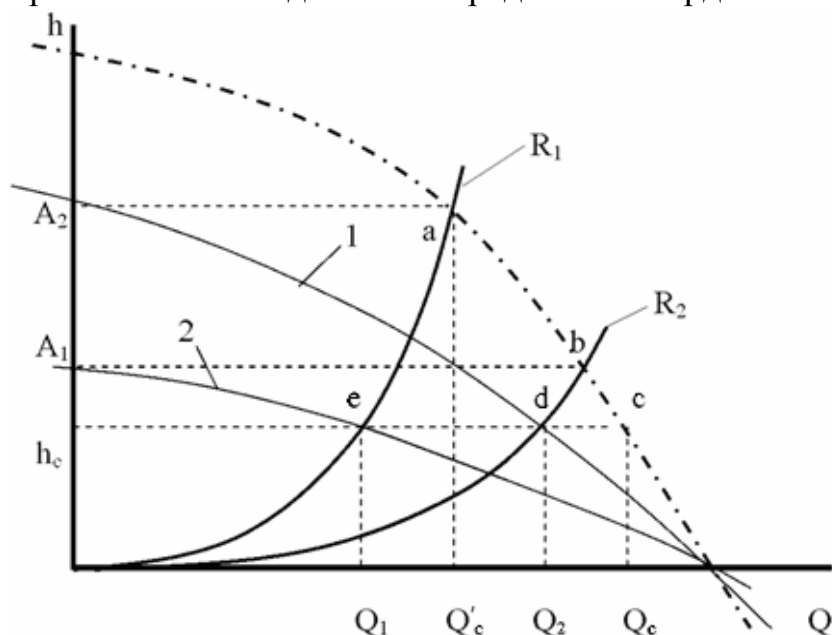


Рис. 36 – Формирование режима проветривания параллельного соединения

Разница абсцисс точек «e» и «a» для ветви  $R_1$  показывает теоретические пределы отрицательного регулирования за счет повышения сопротивления ветви  $R_1$  до бесконечности, а разница абсцисс точек «с» и «a» – теоретическую величину уменьшения расхода воздуха в параллельном соединении при увеличении сопротивления ветви  $R_2$  до бесконечности.

Параметры приведенной характеристики можно определить экспериментально с помощью легкой перемычки (из брезента или из полиэтиленовой пленки).

Сначала определяют нормальный режим проветривания выработки (рис. 37, координаты точки А), то есть измеряют ее депрессию ( $h_A$ ) и расход воздуха ( $Q_A$ ).

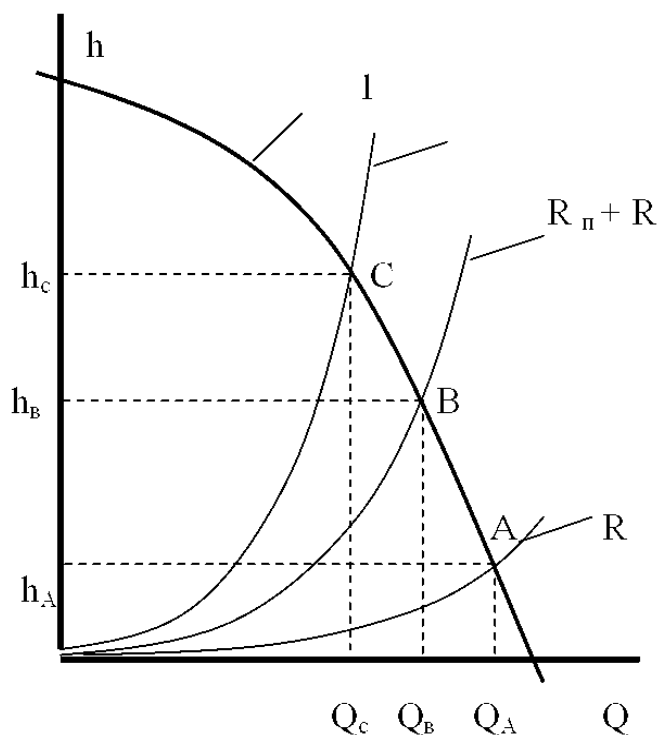


Рис. 37 – Определение параметров приведенной характеристики



Потом устанавливают легкую перемычку, перекрывая 0,5 площади сечения выработки (точка В) и измеряют депрессию перемычки ( $h_B$ ) и расход воздуха ( $Q_B$ ). Те же измерения (точка С) делают после перекрытия сечения на 75 % ( $h_C$ ,  $Q_C$ ). Координаты точек А, В, С наносят на график и соединяют плавной кривой. Параметр  $b$  для параболы определяется с помощью формулы

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

Параметр  $A$  определяют используя формулу

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

Депрессию ветви с регулятором определяет формула

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

где  $h_p$  – депрессия регулятора.

Нужное (необходимое) сопротивление регулятора (приведенная характеристика имеет вид параболы) определяют с помощью формулы

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

где  $Q_n$  – необходимый расход воздуха в выработке после регулирования.

На газовых шахтах III категории и выше перекрытие сечения выработки, которое может привести к уменьшению расхода воздуха в подготовительных или выемочных забоях, недопустимо. В этих случаях необходимо использовать компьютерную модель шахтной вентиляционной сети.

## 21. ФИЗИЧЕСКИЕ И АЭРОДИНАМИЧЕСКИЕ ГРАНИЦЫ ГОРНОЙ ВЫРАБОТКИ

Понятие «начало» и «конец» горной выработки (с точки зрения аэрологии) полностью условны. Они связаны с понятиями «сопряжение» и «длина» горной выработки, а также с направлением движения воздуха по выработке.

Сопряжение – это место соединения (пересечения) нескольких горных выработок (рис. 38). Например, пространство сопряжения трех выработок (1, 2, 3) которые имеют закругления на концах (кроме физических пределов) условно ограничивают три линии (a-a, b-b, c-c) в местах где заканчивается сопряжение.

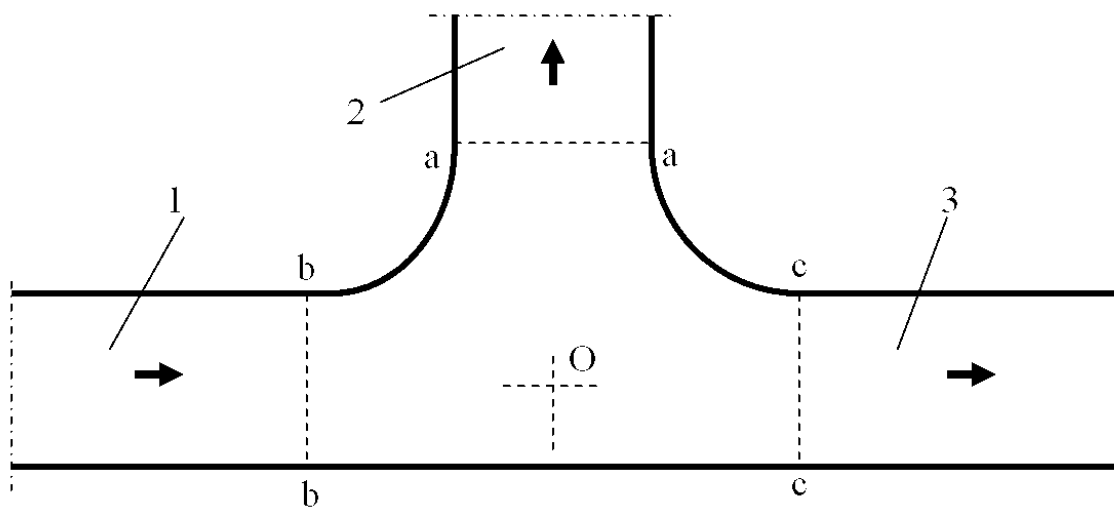


Рис. 38 – Место соединения (сопряжения) трех выработок или частей выработок

Место пересечения горных выработок или сопряжение выработок, не является выработкой. Такого названия нет в перечне типов горных выработок. В то же время, это не просто место соединения выработок. В аэрологии эти места относят к так называемым «местным сопротивлениям». То есть, к местам, где происходят дополнительные потери давления воздуха.

Не следует путать начало или конец горной выработки с устьем выработки. Устья имеют тоннели, стволы и штольни. Устье можно считать началом (концом) горной выработки только в случае, когда эта выработка пересекается с плоскостью поверхности земли. В то же время, устье – это не сечение или точка в месте пересечения горной выработки с поверхностью земли. Устьем считается часть ствола (штольни) длиной 10-20 м, начиная от поверхности земли.

Сопряжение выработок принадлежит к местным сопротивлениям (в гидравлике такие сопротивления называют тройниками и крестовинами). В этих местах возникает возмущение вентиляционной струи. Последствиями возникновения возмущения являются дополнительные расходы давления (депрессии) на перемещение воздуха в сопряжениях.

Существует противоречие между постоянным понятием «горная выработка» (полость в горнах породах) и определением «границ» горной выработки. Физические границы выработки, с точки зрения аэрологии, ограничены начальным и конечным сечениями между ближайшими сопряжениями. То есть, это места где заканчивается закругление ближайших сопряжений (рис. 38, линии a-a, b-b, c-c). Чтобы отличить эту длину от той, которая формирует замкнутые вентиляционные контуры, введем в обращение понятие «физическая» и «аэродинамическая» длина выработки.

Понятие «аэродинамической» длины определяет такую длину горной выработки, к которой отнесены все потери давления воздуха связанные с движением воздуха по отдельной выработке или ее части. Таким образом, потери давления в сопряжениях рассматриваются не как отдельные части, а совмещаются с потерями давления в горных выработках. В этом случае, точка пересечения осей выработок в сопряжении (рис. 38, точка O) является аэродинамическим «концом» выработки 1 и, в то же время, аэродинамическим «началом» выработок 2 и 3. Такой подход дает возможность «замкнуть» вентиляционный контур и понять, что депрессия выработки – это разница давлений воздуха между точками пересечения осей выработок в сопряжениях. Соответственно такому представлению о вентиляционной сети, измерения депрессии выработок необходимо делать между точками, где измеряется аэродинамическая (рис. 39, длина  $L_{3-2}$ ), а не физическая длина ( $L_{3'-2'}$ ). Точки, между которыми измеряется депрессия, совпадают с точками, между которыми измеряется аэродинамическая длина горных выработок (отдельных частей или участков выработок). Только при таком измерении депрессии выработок можно говорить о выполнении второго закона сети. Только тогда, в соответствии со схемой на рис. 39, можно считать (для горизонтальных выработок), что сумма депрессий в вентиляционном контуре 1-2-3-4-1 равняется нулю.

Вышеприведенное дает возможность определить понятия, которые характеризуют некоторые геометрические и аэродинамические границы горной выработки.

Физическая длина горной выработки ( $L_{\phi}$ ) – расстояние между начальным и конечным сечением или условными линиями в местах сопряжений, где заканчиваются их закругления.

Аэродинамическая длина горной выработки ( $L_a$ ) – расстояние между точками пересечения осей горных выработок или их частей в двух ближайших сопряжениях.

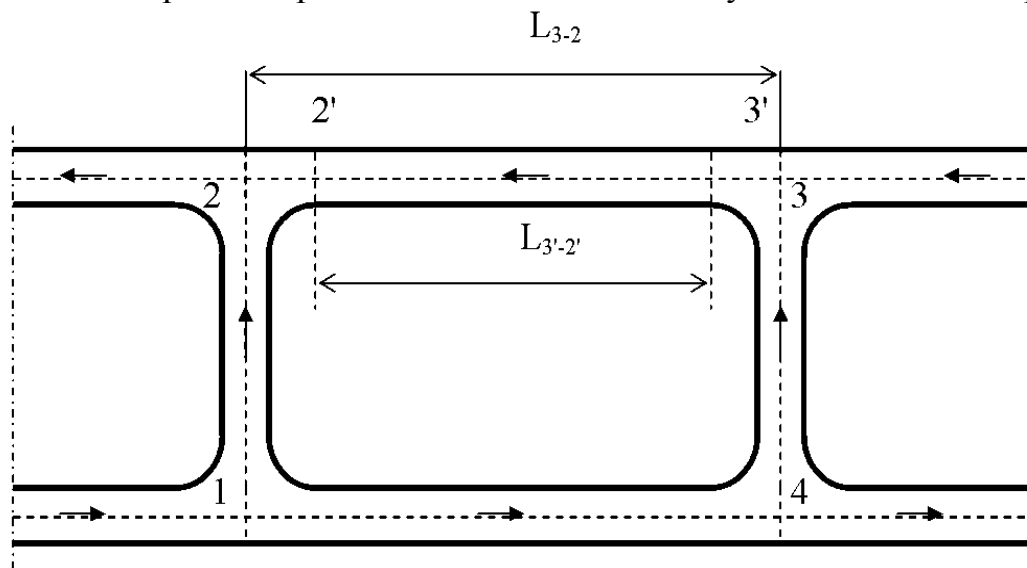


Рис. 39 - Схема соединения горных выработок в вентиляционном контуре

Понятие «начало» и «конец» для горных выработок также связаны с направлением движения воздуха. После изменения направления движения воздуха, «начало» и «конец» меняются местами.

Физическое начало горной выработки – условная линия или рама крепи, в месте где, заканчивается закругление сопряжения, и воздух входит в горную выработку.

Физический конец горной выработки – условная линия или рама крепи, в месте где, начинается закругление сопряжения, и воздух выходит из горной выработки.

С точки зрения аэродинамики «начало» выработки – это точка пересечения осей выработок в сопряжении, где воздух входит в горную выработку, а «конец» – точка пересечения осей выработок в том сопряжении, где воздух выходит из той же выработки.

Вышеприведенное позволяет сформулировать уточнение или условие выполнения второго закона сети: второй закон сети выполняется только в том случае, если потери давления в сопряжениях горных выработок учтены в депрессии ветвей-выработок.

## 22. ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЙ АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ВЫРАБОТОК

Точность моделирования распределения воздуха в виртуальной модели вентиляционной сети зависит от точности определения режима вентиляции ( $h$ ,  $Q$ ) горных выработок и расчетов их аэродинамических сопротивлений. Сложность заключается в том, что аэродинамическое сопротивление горной выработки

является квазистационарным (мнимо неизменным). Фактически оно изменяется во времени. Эта изменяемость существует в двух видах: постепенная и временная. Первая связана с уменьшением сечения выработки под давлением вмещающих пород, а временная – с организационно-технологическими факторами. Постепенная квазистационарность, как правило, касается всех выработок кроме вертикальных стволов (кроме случаев, когда они углубляются или сокращаются, то есть, их общее сопротивление изменяется в зависимости от их глубины), камер и выемочных забоев. Временная квазистационарность сопротивления выработок связана с влиянием горного транспорта (наличие и движение скипов, клетей, грузовых и людских поездов, нагруженных конвейеров, концевой откатки и т.п.), движением людей через вентиляционные сооружения (двери, шлюзы) и по горным выработкам, работой механизмов в выемочных и подготовительных забоях.

Во время рабочей смены могут действовать одновременно все временные факторы, а в промежутках между сменами, некоторые из них исчезают или усиливаются. Например, в лаве (во время добычи угля) сечение, свободное для прохода воздуха, все время изменяется. Постоянное изменение сопротивления лавы связано с движением комбайна, перемещением механизированной крепи (за комбайном), движением людей и изменением объема свободного пространства, за механизированной крепью (выработанное пространство до «посадки» кровли и после нее). В связи с вышеприведенным, можно считать проветривание механизированных лав «пульсирующим».

Среди всех выработок, сопротивление выработок выемочного участка необходимо рассматривать отдельно. Во время добычи угля сопротивление штреков участка постоянно изменяется. Одновременно с работой механизированного комплекса изменяется длина участковых штреков. Так, если отработка участка происходит «столбами» (без дополнительных выработок со «свежим» воздухом), то сопротивление участка все время уменьшается (при почти «неизменном» сопротивлении лавы), а расход воздуха в лаве увеличивается. Эти изменения можно определить (в зависимости от соотношения сопротивления лавы и суммарного сопротивления участковых штреков) в промежутках времени от 5 до 15 суток. В случае «прямого хода» лавы, общее сопротивление участка повышается все время, пока лава работает. При наличии дополнительной вентиляционной выработки (схемы с «прямоточным проветриванием» и обратным порядком отработки подготовленного столба) сопротивление движению воздуха со временем также повышается.

## **23. ОСНОВЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ШАХТНОЙ ВЕНТИЛЯЦИОННОЙ СЕТИ**

### **23.1 Подготовка схемы вентиляции шахты к моделированию**

Технология решения задач шахтной вентиляции с использованием ЭВМ и программного комплекса «IRS Вентиляция-ПЛА» представляет собой соответствующую последовательность действий, начиная с подготовки исходной информации.

На первом этапе нужно подготовить схему вентиляции к введению ее в компьютер. Особенность этой подготовки заключается в том, что схему вентиляции

необходимо показать в виде последовательности связанных между собой ветвей и узлов, то есть сети. Каждый узел сети моделирует соединение горных выработок. Он связывает между собой две или больше ветви-выработки или части выработок.

Кодировка схемы вентиляции выполняется при подготовке шахты к депрессионной съемке. При этом каждому узлу-сопряжению и ветви-выработке на схеме вентиляции присваивают свой номер. Такая нумерация позволяет идентифицировать все выработки шахты или их части и показать их в виде элементов вентиляционной сети.

При подготовке схемы вентиляции шахты к вводу в компьютер, недопустимо ее упрощение, то есть объединение нескольких узлов в один или замена нескольких ветвей одной с эквивалентным сопротивлением. Необходимость детализации вызвана тем, что при расчетах тепловой депрессии пожара и маршрутов движения людей учитывается угол наклона и геометрические характеристики каждой выработки. При упрощении схемы вентиляции, возможные ошибки в построении зоны распространения пожарных газов и маршрутов движения людей, а также ошибки моделирования тепловых источников тяги (естественная тяга, тепловая депрессия пожара).

После кодировки схемы вентиляции, необходимо нанести на нее координатную сетку. За начало координат принимается точка в левом верхнем углу листа бумаги. Рисуются две оси: верхняя – горизонтальная (слева направо) и левая – вертикальная (сверху вниз). Шаг сетки – 50-100 мм. Вся схема вентиляции шахты должна быть расположена ниже горизонтальной и правее вертикальной оси координат.

Наличие координатной сетки облегчает определение координат всех узлов вентиляционной сети шахты и ускоряет «перенесение» схемы вентиляции с листа бумаги на экран монитора. Корректируя эти координаты, в базе данных компьютера, можно изменять расположение узлов и ветвей на экране монитора.

### 23.2 Моделирование основных элементов вентиляционной сети

*Горные выработки и сопряжения.* Совокупность горных выработок, их сопряжений и путей утечек воздуха, составляют основу шахтной вентиляционной сети (ШВС). Схема ШВС на экране выглядит как сочетание ветвей и узлов. Однако, для того, чтобы различать изображение шахтной вентиляционной сети на схеме вентиляции, схеме вентиляционных соединений и на экране монитора используем понятие «ветвь-выработка». Оно означает символическое изображение горной выработки в виде ветви на экране монитора, и в виртуальной модели шахтной вентиляционной сети.

Отдельной ветвью-выработкой на компьютерной схеме вентиляции считается пространство, расположенное между двумя ближайшими сопряжениями и двумя линиями, которые ограничивают границы выработки по бокам. Компьютерное изображение горной выработки содержит: изображение соединений горной выработки с другими выработками или «выход» горной выработки на поверхность земли. Эти места на экране монитора, выглядят как небольшие круги (узлы). Изображение выработки на экране монитора имеет вид одинарной или двойной линии между двумя узлами-сопряжениями (рис. 40). Необходимо, чтобы во время

«рисования» выработки на экране монитора каждая выработка или узел получали те же номера, что и на бумаге.

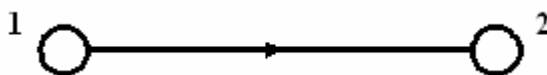


Рис. 40 – Изображение ветви вентиляционной сети между двумя узлами

После введения схемы вентиляции в компьютер необходимо ввести информацию об аэродинамическом сопротивлении каждой выработки. Эта информация берется из материалов депрессионной съемки или рассчитывается в программе (с учетом коэффициента аэродинамического сопротивления).

*Вентиляционные сооружения.* Наличие (или появление) вентиляционного сооружения (двери, шлюз, перемычка) в горной выработке, моделируется с помощью увеличения аэродинамического сопротивления ветви-выработки. Кроме этого, в программе необходимо указать к которому «типу» принадлежит соответствующая ветвь-выработка и «установить» специальный символ на изображении ветви-выработки. Величина сопротивления ветви-выработки с вентиляционным сооружением, принимается по данным депрессионной съемки или по данным измерений специалистов шахты.

На рис. 41 показана схема моделирования кроссинга. Ветви-выработки 2-3 и 3-4 моделируют горные выработки, оборудованные шлюзами, а 2-4, соответственно, канал кроссинга. Внешне, так выглядит и схема вентиляционных соединений с обходной выработкой.

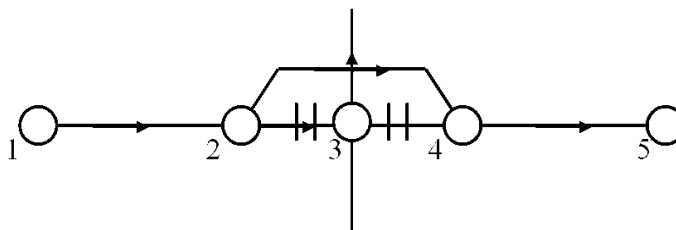


Рис. 41 – Схема моделирования кроссинга (обходной выработки)

*Внешние и внутренние утечки воздуха.* Пути движения внешних и внутренних утечек-подсосов воздуха моделируют с помощью ветвей, но их изображение и информационное обеспечение отличается от ветвей-выработок. Так, если изображение ветви-выработки на экране можно показать в виде двойной линии (как на схеме вентиляции) или одной сплошной линией (как на схеме вентиляционных соединений), то ветви-утечки изображают только в виде штриховой линии (рис. 42).



Рис. 42 – Изображение ветви вентиляционной сети, которая моделирует (отображает) путь движения воздуха через выработанное пространство

Ветви-утечки не содержат информации о длине, площади поперечного сечения, скорости воздуха и другие «атрибуты» ветви-выработки.

Расход воздуха через вентиляционное сооружение имеет соответствующее название-идентификатор: внутренняя утечка (двери), внешняя утечка (двери). В этом случае к символу ветви (рис. 42) добавляется символ вентиляционного сооружения

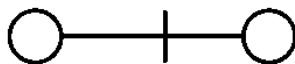


Рис. 43 – Изображение ветви вентиляционной сети с вентиляционным сооружением

Движение воздуха с поверхности земли до канала вентилятора через разные неплотности и устье ствола называется «подсосы», если вентилятор главного проветривания работает в режиме всасывания воздуха. При работе вентилятора на нагнетание, движение воздуха, из канала вентилятора на поверхность земли через разных неплотности называется «утечки воздуха».

Ветвь, которая моделирует внешнюю утечку-подсос воздуха, всегда имеет один узел, который моделирует поверхность земли (рис. 44). Все пути движения внешних утечек-подсосов воздуха, связанные с одной вентиляторной установкой (3-4), упрощенно можно представить в виде одной ветви 1-2. Эта ветвь моделирует все внешние утечки-подсосы воздуха. Она «связывает» поверхность земли и начальный узел ветви, моделирующей канал вентилятора (2-3).

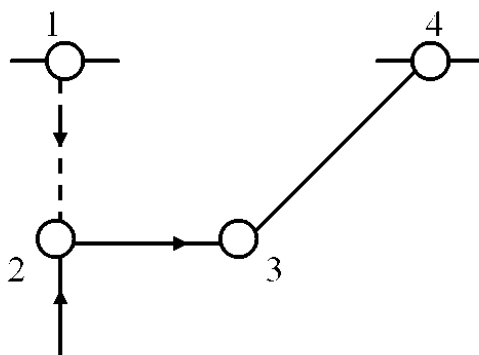


Рис. 44 – Упрощена схема моделирования путей внешних утечек-подсосов воздуха

Внутренние утечки-подсосы воздуха можно разделить на две группы: утечки через вентиляционные сооружения в горных выработках (см. выше) и утечки через выработанное пространство. Утечки через выработанное пространство также разделяются на две группы: местные и рассредоточенные. Местные связаны с каким-то конкретным местом, например, местом соединения действующей выработки с выработкой, которая «погашена». Рассредоточенные утечки воздуха – это утечки по длине выработки, например, вдоль выработки, примыкающей к выработанному пространству выемочного участка. В обоих случаях расход воздуха моделируется одной ветвью, но, сопротивление пути движения утечки ( $R_y$ ), во втором случае, определяется как фиктивное. Оно характеризует итоговые утечки-подсосы воздуха вдоль какого-либо участка выработки. Например, фиктивное сопротивление ветви, моделирующей утечки воздуха через выработанное пространство за лавой (рис. 45) можно посчитать с помощью формулы

$$R_{в.л.} = h_l / \Sigma Q_y^2,$$

где  $h_l$  – депрессия лавы;

$\Sigma Q_y$  – сумма утечек воздуха с транспортного штрека на вентиляционный.

Моделирование выработанного пространства, само по себе, является отдельной научной задачей. В настоящее время отсутствует официально действующая методика моделирования выработанного пространства.

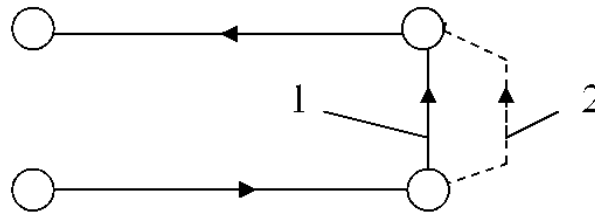


Рис. 45 – Схема моделирования выработок выемочного участка:  
1 – ветвь-лава; 2 – ветвь-утечка

*Моделирование вентиляции подготовительных выработок.* Для моделирования вентиляции подготовительных выработок, необходимо в шахтной вентиляционной сети выделить две дополнительные ветви. Первая – моделирует часть выработки от места, где находится вентилятор местного проветривания (ВМП) до начала тупиковой выработки. Следовательно, выработка, подводящая воздух к ВМП и связанная с началом тупиковой выработки, в модели разделена на две ветви: одна – от начала выработки до ВМП, а вторая – от ВМП до начала тупиковой выработки. Подготовительная выработка также моделируется двумя ветвями: одна – от начала до забоя, а вторая – забой тупиковой выработки. ВМП моделируется отдельной ветвью.

Утечки воздуха из нагнетательного трубопровода, в общем случае, тоже моделируются двумя ветвями-утечками. Схема моделирования, которая содержит ветвь ВМП и вентиляционный трубопровод приведена на рис. 46а. На рис. 46б приведена схема проветривания тупиковой выработки, а на рис. 46в – схема моделирования местной вентиляции.

На рис. 46б ветвь 1-2 моделирует участок выработки от начала (по ходу вентиляционного потока) до места, где стоит ВМП. Ветвь 2-3 – часть выработки от места установки ВМП до сопряжения с тупиковой выработкой. Ветвь 2-4 – ВМП. Ветвь 4-5 – вентиляционный трубопровод от ВМП до начала тупиковой выработки. Ветвь 5-6 – вентиляционный трубопровод от начала до забоя тупиковой выработки. Ветвь 6-7 – забой тупиковой выработки (участок тупиковой выработки длиной 20 м, от поверхности забоя). Ветвь 7-3 – тупиковая выработка. Ветвь 3-8 – выработка с отработанным воздухом из тупиковой выработки. Все утечки воздуха, которые рассредоточены по длине трубопровода, моделируются двумя ветвями. Первая (5-3) моделирует утечки из трубопровода на участке от ВМП до начала тупиковой выработки. Вторая (5-7) – все утечки воздуха из трубопровода от начала выработки до забоя.

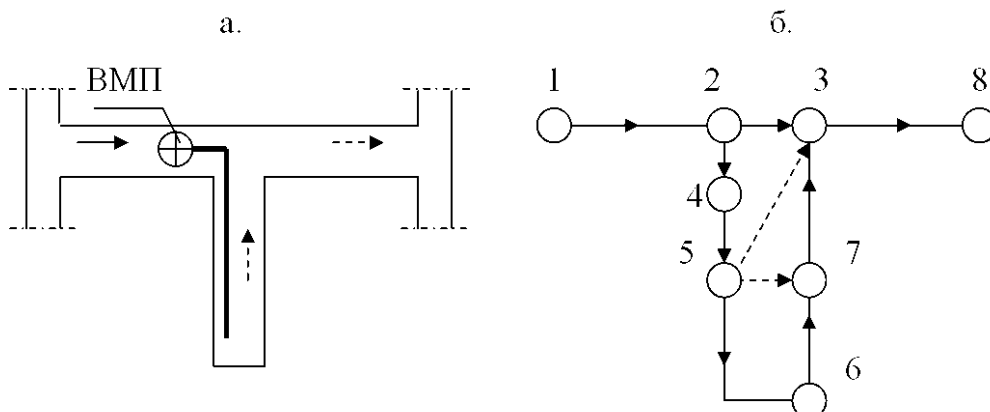


Рис. 46 – Схема вентиляции и моделирования тупиковой выработки



Такая модель местного проветривания позволяет, с одной стороны, отделить режим проветривания забоя тупиковой выработки, а с другой – контролировать опасность появления рециркуляции на участке от ВМП до начала тупиковой выработки.

*Моделирование вентилятора.* Вентилятор главного проветривания (или ВГП) моделируется отдельной ветвью. Характеристику вентилятора в большинстве случаев описывает формула

$$h = A_e - b_e Q^2,$$

где  $h, Q$  – депрессия и подача вентилятора, соответственно;

$A_e, b_e$  – коэффициенты характеристики вентилятора (рассчитываются по графику характеристики).

*Естественная тяга.* Естественную тягу моделируют точечными источниками тяги. Их величина рассчитывается для отдельных контуров шахтной вентиляционной сети, а характеристика имеет вид прямой линии, параллельной оси абсцисс. В шахтной вентиляционной сети можно выделить три группы выработок (рис. 47) с естественной тягой: стволы ( $h_{e.c}$ ), наклонные выработки выемочных полей ( $h_{e.n}$ ) и выемочные участки ( $h_{e.y}$ ). Естественная тяга рассчитывается по результатам температурной съемки с помощью термодинамического метода.

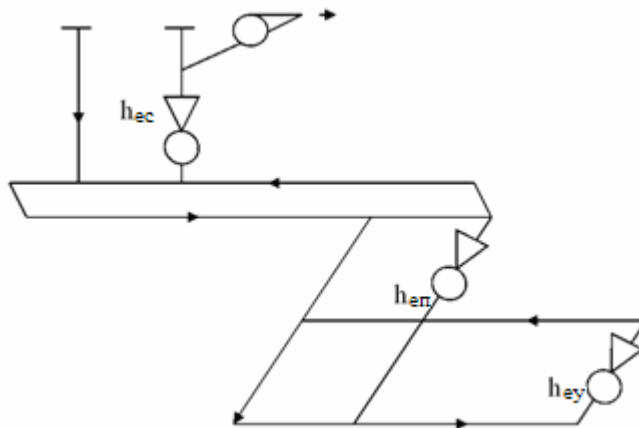


Рис. 47 – Упрощена схема шахты с естественной тягой в трех вентиляционных контурах

В компьютерной модели «IRS Вентиляция-ПЛА» естественная тяга моделируется добавлением депрессии в ветвь-выработку. Для этого используется специальная вставка «Доп. депрессия» в окне каждой ветви. Дополнительная депрессия вводится в наклонную (вертикальную) выработку с восходящей струей воздуха (если в одной выработке нисходящее, а в другой – восходящее проветривание).

### 23.3 Определение сопротивлений ветвей-выработок с помощью компьютерной модели ШВС

Важным фактором, который не всегда учитывается, является возможность использования современного программного обеспечения для определения аэродинамических сопротивлений горных выработок. Так, в программном комплексе «IRS Вентиляция-ПЛА» предусмотрена возможность автоматизированного определения сопротивлений отдельных выработок по одному измеренному параметру. Например, если в каком-то вентиляционном контуре есть выработка, где измерена только депрессия или расход воздуха, то этой информации

достаточно для автоматического расчета аэродинамического сопротивления ветви. Возможность таких расчетов связана с использованием так называемых «фиксированных» депрессий и расходов воздуха.

Оптимальный объем выработок с неизвестной депрессией или расходом воздуха в одном вентиляционном контуре: одна неизвестна депрессия и один неизвестный расход воздуха. То есть, если вентиляционный контур состоит только из двух ветвей-выработок (параллельное соединение), то достаточно ввести в компьютерную модель одной выработки только депрессию, а в другую – только расход воздуха.

Депрессию измеряют в выработках, где сложно (или невозможно) измерять расход воздуха (утечки воздуха через закрытые вентиляционные двери, перемычки, выработанное пространство), а с помощью расходов воздуха определяют сопротивление тех выработок, где сложно измерять депрессию (длинные выработки). Для использования возможностей программного обеспечения по определению сопротивления ветвей-выработок, необходимо предварительно ввести в компьютер всю схему вентиляционной сети и активизировать модель вентилятора главного проветривания (выбрать вентилятор и соответствующую рабочую характеристику). Далее вводятся аэродинамические сопротивления тех ветвей, где они известны, то есть посчитанные по измеренной депрессии и расходам воздуха. После этого вводятся депрессии в ветви-выработки, где измерялась только депрессия, а также расходы воздуха, в ветви-выработки, где измерялись только расходы. «Нажатие» одной виртуальной клавиши дает необходимый результат: аэродинамические сопротивления всех ветвей, где был измерен только один аэродинамический параметр (депрессия или расход воздуха).

Возможность определения сопротивления по измеренной депрессии или расходу воздуха с помощью компьютерной модели, базируется на свойстве вентиляционной сети формировать приведенные характеристики ветвей-выработок в неявной форме. Учитывая такую возможность, нужно еще на стадии подготовки к депрессионной съемке определить перечень выработок, где нужно измерять только депрессию, а где – только расход воздуха.

Объем измерений на каждой шахте можно значительно сократить, если поддерживать базу данных для компьютерной модели ШВС и постоянно ее корректировать. В большинстве случаев достаточно только измерять депрессию новых вентиляционных сооружений и расходы воздуха в новых выработках.

Использование программного обеспечения для обработки результатов шахтных измерений, дает значительную экономию трудозатрат и уменьшает погрешности расчетов.

#### 23.4 Моделирование распределения воздуха

Важным этапом подготовки модели ШВС к использованию, является моделирование «нормального» варианта распределения воздуха в шахте. Название «нормальный» означает, что на основании этого распределения воздуха и депрессии, в компьютерной модели будут решаться все другие задачи вентиляции. Иначе говоря, «нормальный» вариант распределения воздуха должен отвечать тому, который был во время измерений. Понятие «нормальный» используется для сравнения с распределением воздуха в аварийных условиях. Следовательно, первый

этап моделирования нормального распределения воздуха в ШВС связан, в первую очередь, с обеспечением соответствия режима проветривания горных выработок в реальной шахте и результатов моделирования ШВС. Модель ШВС можно считать «работоспособной», если расходы воздуха в горных выработках и ветвях-выработках отличаются не более чем на 10 %. В другом случае необходима проверка исходной информации об аэродинамических сопротивлениях горных выработок, а также соответствия схемы вентиляции шахты, компьютерной схеме сети. Проверку можно начинать с выемочных участков и, двигаясь по ходу (или против хода) вентиляционной струи в направлении стволов, сравнивать расходы воздуха, полученные на модели с результатами измерений. При их расхождении (при условии, что схема-сеть соответствует схеме вентиляции шахты), необходимо провести корректировку аэродинамических сопротивлений ветвей в схеме ШВС. В это время необходимо обращать внимание на то, учитывалось ли действие естественной тяги при определении сопротивления отдельных ветвей-выработок.

Во время моделирования нормальных условий вентиляции и аварийных вентиляционных режимов следует учитывать возможные погрешности модели. Одной из таких погрешностей есть разная по величине реакция реальной сети и компьютерной модели на смену сопротивления отдельных выработок. Разная реакция означает, что, например, при моделировании изменения сопротивления какой-то выработки, расход воздуха в приближенных к ней выработках изменится на 30 %, а такое же действие в реальных условиях шахты приведет только к изменению на 15 %. Этот эффект имеет название «затухания» возмущения вентиляционной струи в вентиляционных контурах. Следовательно, во время решения разных задач вентиляции с помощью компьютерной модели ШВС, следует учитывать, что последствия влияния отдельных факторов на распределение воздуха в реальных условиях будут меньше, чем результаты, полученные с помощью компьютерной модели.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Аерологія шахтних вентиляційних мереж: Монографія / В.О. Трофимов, Ю.Ф. Булгаков, О.Л. Кавера, М.В. Харьковский. – Донецьк: Норд-Прес, 2009. – 88 с.
2. Ушаков К.З. и др. Аэрология горных предприятий. – М.: Недра. – 1987. – 421 С.
3. Правила безпеки у вугільних шахтах. – Київ. – 2010. – 430 С.
4. Руководство по проектированию вентиляции угольных шахт. – Киев: Основа. – 1994. – 311 С.
5. Болбат И.Е., Лебедев В.И., Трофимов В.А. Аварийные вентиляционные режимы в угольных шахтах. – М.: Недра. – 1992. – 206 С.
6. Кордони гірничої виробки / В.О.Трофимов, Ю.Ф.Булгаков, О.Л.Кавера, М.В.Харьковский – ДонНТУ: Вісті Донецького гірничого інституту №1 – 2009
7. Трофимов В.О., Кавера О.Л., Принцева О.А., Каплун А.Ю. Комп'ютерне моделювання елементів вентиляційної мережі // Вісті Донецького гірничого інституту, № 1, т. 2 – 2013
8. Трофимов В.О. Властивості шахтної вентиляційної мережі / В.О. Трофимов, О.Л. Кавера, М.В. Харьковский – ДонНТУ: Вісті Донецького гірничого інституту №1 – 2009
9. Визначення режиму провітрювання гірничої виробки / В.О.Трофимов, Булгаков Ю.Ф., О.Л.Кавера, М.В.Харьковский – Уголь Украины, №5 – 2009
10. Взаємовплив вентиляторів головного провітрювання / Трофимов В.О., Булгаков Ю.Ф., Харьковский М.В., Кавера О.Л. // Уголь Украины, №4, – 2010. – С. 33-35