

Трофимов В.О. к.т.н., доц., Булгаков Ю.Ф., д.т.н., зав. кафедрою „Охорона праці та аерологія”, Донецький національний технічний університет

АЕРОЛОГІЯ ВЕНТИЛЯЦІЙНИХ МЕРЕЖ ВУГІЛЬНИХ ШАХТ

В гірничій аерології вугільна шахта розглядається як об'єкт вентиляції. З цієї точки зору усі питання щодо метану, дегазації, пильового режиму, плану ліквідації аварії і таке інше, є вторинними. Вони не впливають, безпосередньо, на кількість та розподіл повітря у гірничих виробках, тому їх потрібно розглядати як такі, що впливають тільки на безпеку праці людей у вугільній шахті. Відповідно, питання пов'язані з кількістю кисню чи вуглецю у повітрі, теж торкаються тільки безпеки праці. Аварійна вентиляція також є вторинною. Її питання повинні розглядатися як один із підрозділів гірничорятувальної справи.

Такий підхід дає змогу відкинути усе вторинне за межі курсу вентиляції і витягає на поверхню шахту, як вентиляційну систему. У цій системі метан впливає тільки на густину повітря, а дегазаційний трубопровід – на площу перерізу гірничої виробки. Вищенаведене змушує нас чітко окреслити кордони нової-старої вентиляції. Її назва – „Аерологія вентиляційних мереж вугільних шахт”. Особливість цієї аерології у тому, що тут розглядаються тільки ті закони, які пов'язані з рухом повітря у гірничих виробках та його розподілом між елементами вентиляційної мережі. Відповідно до такого бачення проблем вентиляції, „Аерологія...” складається із п'яти частин:

- теоретичні засади, які діють у вентиляційних мережах;
- методика вимірів та розрахунку чинників, які впливають на розподіл повітря у мережі;
- моделювання шахтних вентиляційних мереж;
- вирішення завдань вентиляції та планів ліквідації аварій за допомогою моделі;
- глосарій.

Ця побудова „Аерології...” дає чітку вказівку на те, що сучасна аерологія вентиляційних мереж вугільних шахт є віртуальною, тобто відтворюється за допомогою комп'ютерів. Знання теорії потрібні для того, щоб зробити необхідні виміри у реальній вентиляційній системі та проаналізувати результати розрахунків, які зробив комп'ютер.

Першим важливим кроком у напрямку відтворення „новітньої” аерології є формування її сучасного глосарію. Тобто такого, який дає чітке розуміння різниці між елементами вентиляційної системи вугільної шахти, елементами шахтної вентиляційної мережі та елементами віртуальної моделі тієї мережі. Окрім того, аерологія вентиляційних мереж

містить цілком новий підрозділ – моделювання шахтних вентиляційних мереж за допомогою обчислювальної техніки.

В останні 15 років, за допомогою програмних комплексів АРМ „Вентиляція” та „IRS Вентиляція-ПЛА” було створено віртуальні моделі вентиляційних мереж для декількох автомобільних, залізничних тунелів та сотні вугільних шахт [1,2]. Окрім того, було розроблено загальні засади моделювання вентиляційних мереж метрополітенів та проведено моделювання вентиляційних мереж Київського та Харківського метрополітенів [3,4]. Накопичений досвід дозволяє стверджувати, що вентиляція підземних споруд, це у першу чергу, така вентиляція, яка показує, як розподіляється повітря у вентиляційній мережі та як цей розподіл змінюється під впливом різних чинників. Такий узагальнений підхід дає розуміння того, що любий об’єкт, який можна представити як вентиляційну мережу, може бути відтворений як віртуальна вентиляційна мережа.

Те програмне забезпечення яке є [5], підтвердило свою універсальність та надійність. Не має значення, яка мережа моделюється. Це може бути висотна башта, житловий будинок чи система промислової вентиляції установи. Головне, щоб рух повітря був турбулентним, а у вентиляційній системі можна було чітко відокремити елементи вентиляційної мережі.

Згадуючи про надійність віртуальних моделей, слід зауважити, що у деяких випадках, програмне забезпечення, яке використовують для моделювання вентиляційних мереж, не відбиває реальність. Наприклад, у програмному комплексі РЕВОД [6], дія природньої тяги моделюється джерелом тяги у каналі вентилятора. Це не відповідає законам вентиляційної мережі. Можна додати, що закон Бернуллі у мережі не діє [7-8]. Він діє, частково, тільки у відокремленій гірничій виробці, чи у послідовному з’єднанні гірничих виробок, які можна замінити однією віртуальною гілкою.

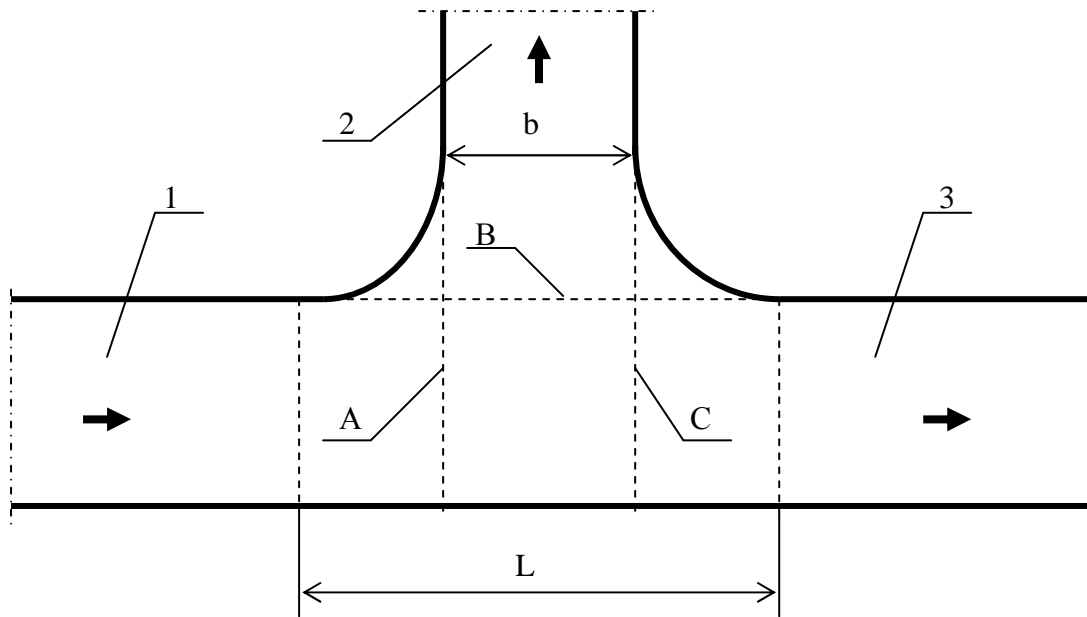
Формулювання термінів, які складають сенс „Аерології вентиляційних мереж”, можна почати із загального поняття вентиляційної мережі. В усіх випадках це **сукупність шляхів руху повітря у об’єкті вентиляції**. Під об’єктом ми розуміємо середовище, яке якимсь чином відокремлено від земної атмосфери і може мати свій мікроклімат.

Відносно вугільної шахти, як і багатьох інших об’єктів, треба додати, що вентиляційна мережа, як орієнтований, зв’язаний граф, виникає тільки у тому випадку, коли вентиляція відбувається за рахунок дії штучних та природніх чинників. Це видно вже з того, що після вимкнення електрики у шахті, повітря рухається по іншій мережі і за рахунок дії не штучних, а природніх чинників. Аеродинамічний опір цієї мережі інший, ніж для вентиляторів, які діють на кордоні вентиляційної мережі. Природня тяга, яка формується у ствола, та похилих виробках, діє як внутрішнє джерело тяги, тобто у середині вентиляційної мережі. У тупикові виробки повітря не йде, тому вони випадають із мережі.

Поняття вентиляційної мережі тісно пов'язане із її віртуальним образом. Схема вентиляції, якою користуються на шахтах, не відтворює усю мережу. Ця схема тільки показує, як гірничі виробки розташовані одна, по відношенню до іншої, та вказує напрямки руху повітря по виробках і шляхах втрат повітря. Віртуальна схема (на екрані монітору) повністю відтворює шахтну вентиляційну мережу. На ній можна побачити навіть ті гілки, які моделюють витoki повітря із вентиляційних трубопроводів. У реальній шахті того можна не побачити, але можна відчутти – повітря виходить на стиках та через отвори у тілі труби.

На рівні із поняттям вентиляційної мережі, важливим є термін „гірнича виробка”. У сучасній аерології гірнича виробка розглядається як щось таке, що „Богом” дане. Тому, ні у якому підручнику чи нормативному документі ви не знайдете роз'яснень, що таке „початок” та „кінець” виробки. Усі посилаються на те, що вимірювати депресію треба між „початком та кінцем”, а що це таке – ніхто не формулює. Вважається, що це „усім відомо”. У відповідності до законів абсурду, якщо усім, то – нікому. Тому приділимо увагу цьому поняттю. Він є ключовим у розумінні того, як формується віртуальна вентиляційна мережа.

Отже, по-перше, поняття „початок” та „кінець” гірничої виробки є поняттям цілком віртуальним, тобто уявним. Що бачить людина, яка спустилася у шахту? Припустимо, що в неї є завдання прийти до „початку” якоїсь виробки. Тим початком буде уявна лінія (мал.1), яку можна „провести” стоячи на перетині декількох виробок. Лінію А можна вважати кінцем виробки 1, лінії В і С, відповідно, початок виробок 2 і 3. Мало того, „кінець” чи „початок” у вентиляції залежать тільки від напрямку руху повітря. „Початком” вважається місце де повітря уходить до виробки, а „кінець” – де виходить. Отже, початком чи кінцем якоїсь виробки є **уявна лінія**, яка є подовженням лінії контуру іншої виробки до перетину із лінією контуру тієї виробки, яку ми розглядаємо. Це формулювання, нарешті, дає нам змогу зрозуміти, що місце, де виробки поєднуються чи перетинаються, не є у повному сенсі „вузлом” шахтної вентиляційної мережі. Тим більше вузлом віртуальної моделі. Різниця полягає у тому, що перетин має аеродинамічні властивості (місцевий опір), а вузол у мережі – не має. У віртуальній мережі аеродинамічні властивості перетинів гірничих виробок не відтворюються. Під час депресійних зйомок перетини оминаються, а виміри, взагалі, відбуваються не на віртуальному кінці чи початку виробки, а там, де поле швидкостей повітря вирівняно. На початку виробки – на відстані 10-12 b , а у кінці 4-5 b (b - ширина виробки). Якщо, у мережі є 300 вузлів чи перетинів гірничих виробок, а середня ширина виробки 3 м, то одразу можна сказати, що, під час депресійної зйомки, із мережі викинуто від 900 до 2000 метрів гірничих виробок. Мабуть, тут і заховано оті 500-600 Па, яких може не доставати, після вимірів депресії по якомусь маршруту. Відповідно, похибка вимірів повітря і депресії у виробках, довжина яких менше 14 b (приблизно, 32 метри), може складати 100%.



Мал..1 Місце з'єднання трьох виробок чи частин виробок

Ніяких порушень тут немає. Усе відбувається у відповідності до діючих нормативних документів України [9], але тих, хто складав ці документи, мимоволі, ввели у оману. Люди, які мали право складати підручники із аерології (Аэрология горных предприятий, Москва, „Недра”, 1987) мешкають у Росії. Останній підручник (який вважається діючим на Україні) виданий фахівцями Московського гірничого інституту, ще за часи Радянського Союзу. Із точки зору „Аерології вентиляційних мереж” він нічим не відрізняється від того, що було видано у 1949 році. Ота газова динаміка чи надійність, обплутані диференціалами та інтегралами, ніяк не пов'язані із реальною вентиляцією чи моделюванням вентиляційних мереж. Мало того, автори винайшли природню тягу у гірничій виробці. За їх уявою, це виходить із рівняння Бернуллі. Таке уявлення про природу дії природньої тяги призвело до того, що у депресійних зйомках одну і туж загальношахтну природню тягу враховують два рази. Спочатку, при підрахунку опору шахтної мережі, а потім – у опорі мережі вентилятора головного провітрювання. Усі ці негаразди, чи деякі з них, було показано у деяких статтях та монографії [10], але це не змінює ситуацію. На Україні відсутній базовий підручник із аерології вугільних шахт.

Повертаючись до поняття „гірничої виробки” слід зазначити, що у теорії вентиляційних мереж таке поняття не існує. У мережі є тільки гілки та вузли. Оскільки вузол не несе у собі ніяких аеродинамічних характеристик, то усі частки аеродинамічного опору, який формується у місцях перетину виробок, необхідно відносити до аеродинамічного опору гілок.

Для того, щоб врахувати усі відмінності віртуальної моделі від реальних елементів вентиляційної мережі, потрібно ввести у обіг нові терміни. Вони потрібні для розуміння того, як формується віртуальна модель шахтної вентиляційної мережі. Першим з тих понять є, так звана, **гілка-виробка**. Це віртуальна модель гірничої виробки, але поняття „гілка-виробка”, на відміну від самої гірничої виробки, має інший сенс. Річ у тім, що поняття гірничої виробки та гілки-виробки співпадають тільки у одному випадку – коли гірничача виробка, од початку до кінця, не має перетинів з іншими виробками чи шляхами втрати повітря. Іншими словами, вентиляційний ходок, який складається із десяти ділянок не є гілкою. Тому вентиляційний ходок у віртуальній мережі моделюється за допомогою десяти гілок-виробок. Кожна гілка моделює частину гірничої виробки і тільки сукупність усіх частин, у цьому випадку, називається „вентиляційним ходком”. Із того ми бачимо, що назва „гірничача виробка” не може бути використана у віртуальній вентиляційній мережі. Поняття гілки-виробки універсальне, а от наповнення бази даних по кожному елементу віртуальній мережі може бути різним. У сучасній віртуальній моделі (IRS Вентиляція-ПЛА) їх вже не менше ста [11-14]. До того ж є чотири різні підходи до визначення аеродинамічних характеристик гілки-виробки.

Звісна річ, увесь глосарій „Аерології вентиляційних мереж”, з урахуванням сенсу термінів, виходить далеко за рамки цієї статті. Мабуть він повинен бути додатком до підручника з „Аерології вентиляційних мереж вугільних шахт”.

Усе вищенаведене є наслідками того, що теоретичні засади аерології гірничих підприємств є повністю компілятивні. Закони Бернуллі та аеродинамічного опору узяті із гідродинаміки, а закони мереж – із електрики. Вони механічно копіюються із підручника в підручник, а коли хтось намагається робити виміри у реальній шахті, дають похибки. Середня похибка виміру депресії по маршрутам від поверхні до вентилятора складає 18-20%, а в декількох випадках – 30-35%. Які виміри – такі і моделі. Знаючи це, деякі фахівці (наприклад, на шахті „Щегловська-Глибока”) самі виконують усі виміри і підтримують віртуальну модель у робочому стані. Моделювання потребує не дво-, а чотирьохвимірною мислення. Це видно вже з того, що усі вентиляційні системи вугільних шахт є не стаціонарні, а квазістаціонарні.

Однією з вад сучасної вентиляції є, також, так звана, проблема „Бога у машині”. Інакше кажучи, сліпа віра у те, що результати розрахунків, які видає комп’ютер це і є та очікувана істина. Людина забуває, що комп’ютер це просто „великий” калькулятор. Які дані ви у нього запхаєте, те й отримаєте. На цей час, ще не одна програма не відтворила того, що відбувається у реальній вентиляційній мережі. Прикладом того є закономірність, яка винайдена та досліджена М.О.Патрушевим [15]. Він показав, що вентиляційна мережа вугільної шахти є великим повітряним демпфером. Вентиляційне збудження „згасає” у

мережі за декілька вентиляційних контурів. Цю закономірність, навіть можна вважати четвертим законом вентиляційних мереж. Вона притаманна усім мережам.

Зважаючи на це, треба розуміти, що результати різних розрахунків, пов'язаних із розподілом повітря у мережі, є максимально „оптимістичними”. Віртуальна модель вентиляційної мережі, не відтворює об'єми вироблених просторів та втрати повітря через них (вироблений простір – „чорна” скриня). Віртуальну модель можна назвати „жорсткою”. Як наслідок цього, усі кількісні показники, які показала модель, у реальній шахті можуть бути меншими на 15% (у середньому). Розмір похібки залежить як від якості моделі, так і від того, як „далеко” один від одного, у мережі, розташовані об'єкт регулювання і гілка-регулятор (місце вентиляційного збурення).

На останок, приділемо увагу такому феномену вентиляційної мережі, як її квазістаціонарність. Зміни опорів гірничих виробок та їх частин відбуваються у шахті кожну хвилину. Достатньо уявити, що увесь час змінюється довжина підготовчих виробок та штреків виїмкових дільниць. Підтримувати „реальну” базу даних по усім шахтам підрозділи ГВГСС не в змозі. Їхні моделі „старіють” відразу після останнього виміру, ще коли представники служби депресійних зйомок, тільки но виходять із шахти. При відсутності автоматичного моніторингу депресії, реальна підтримка віртуальної моделі у робочому стані можлива тільки на шахті. Такий досвід вже є. На шахті „Щегловська-Глибока” у повному обсязі функціонує єдиний в Україні електронний план ліквідації аварій. Він відтворений на шахті у мережевому варіанті. До мережі підддані головний інженер, горний диспетчер та служба вентиляції. Цей, унікальний для вугільної галузі випадок, стався завдяки фахівцю служби вентиляції О.В.Фіщуку. Він розробив унікальну технологію підтримки віртуальної моделі шахтної вентиляційної мережі. У разі потреби, може сам, за лічені години, підготувати та роздрукувати версію плану ліквідації аварії на папері. Пану Фіщуку О.В. відомі всі тонкощі моделювання вентиляційних мереж вугільних шахт. На жаль, такий фахівець на Україні є тільки у одному екземплярі.

Підсумовуючи вищенаведене, можна зробити наступні висновки:

- сучасна аерологія підземних споруд не відповідає вимогам теорії моделювання вентиляційних мереж; сенс багатьох термінів не визначений, а закони не пов'язані з реальністю сучасних вугільних шахт;
- під час підготовки бази даних для моделей вентиляційних мереж вугільних шахт слід, чітко визначати аеродинамічні характеристики гірничих виробок у межах їх фізичних кордонів;
- введення у обіг понять „гілка-виробка” та її модифікацій дозволяє ідентифікувати різні, за фізичними характеристиками, елементи вентиляційних мереж;

- необхідне створення сучасного глосарію термінів, які дозволяють ідентифікувати елементи вентиляційної системи фізичного об'єкту та пов'язати його із відповідним елементом віртуальної вентиляційної мережі;
- для моделювання фізичних явищ, які впливають на розподіл повітря у вентиляційних мережах, необхідно мати визнані методичні засади, які перевірені під час експериментів на реальному об'єкті; у тих випадках, коли характер змін у фізичному об'єкті не може бути визначений (наприклад, вироблений простір – „чорна скриня”), необхідно вказувати на можливий розмір похибки чи визначати умови, коли така невизначеність не має впливу на кінцевий результат;
- аналіз результатів моделювання розподілу повітря у вентиляційній мережі слід проводити із урахуванням, „жорсткості” комп'ютерної моделі, тобто, на реальному фізичному об'єкті, зміни розподілу повітря будуть меншими, ніж показало моделювання; це витікає вже з того, що у моделі ми замінюємо мережу „чорної скрині” на одну-дві гілки-моделі із фіктивними опорами;
- четвертим законом вентиляційної мережі слід вважати закон гасіння вентиляційного збурення чи закон Патрушева;
- аналіз результатів моделювання розподілу повітря у вентиляційній мережі шахти повинен робити гірничий інженер, фахівець із моделювання вентиляційних мереж, який знає особливості дії мережевих законів у вугільній шахті;
- теоретичні та практичні засади моделювання вентиляційних мереж (за допомогою комп'ютерів) складають самостійний напрямок аерології, а саме – аерологію вентиляційних мереж;
- досвід моделювання вентиляційних мереж вугільних шахт, тунелів та метрополітенів свідчить про те, що сучасне програмне забезпечення (наприклад, програмний комплекс „IRS Вентиляція-ПЛА”) дозволяє моделювати вентиляційні мережі та розподіл повітря у любых фізичних об'єктах, які можна представити, у вигляді вентиляційної мережі (багатоповерхівки, телевізійні башти чи просто будівлі); необхідною умовою цього є підготовка методичного підґрунтя та розробка методів формування відповідної бази даних;
- необхідна розробка підручника із аерології та моделювання вентиляційних мереж вугільних шахт.

Література

1. Болбат И.Е., Лебедев В.И., Трофимов В.А. Аварийные вентиляционные режимы в угольных шахтах. - М.: Недра, 1992. - 206 с.
2. Рекомендации по управлению вентиляцией автодорожного тоннеля под судоходным каналом (г.Ленинград) при возникновении и ликвидации аварий. -

Донецк: НИИГД.1990.-25 с.

3. Потетюев С.Ю., Трофимов В.А. Моделирование вентиляционной сети метрополитена на ПЭВМ. Сборник докладов международной конференции «Спасение 2000», Харьков: 2000. – 614 с. – С.323-326.
4. Трофимов В.А., Гулаков П.З. Повышение устойчивости проветривания при пожаре поезда в тоннеле метрополитена// Известия Донецкого горного института.- Донецк, 2001. -№ 1. – С.23-24.
5. Романченко С.Б., Кирилов М.Б., Абрамова К.О.,...Трофимов В.О... Комп'ютерна програма «IRS Вентиляція-ПЛА». Свідोцтво про державну реєстрацію виключної правомочності на твір ВП№910. Українське Агенство по авторським правам, 2001.
6. Руководство по эксплуатации программной системы РЕВОД (версия 4.2). – Донбасский научный центр. Донецк. 1999. – 71 с.
7. Трофимов В.А., Харьковской М.В. Особенности применения уравнения Бернулли в рудничной вентиляции. Вісті Донецького гірничого інституту: Всеукраїнський науково-технічний журнал гірничого профілю/ Донецьк: ДонНТУ, 2005. – №1 – С.178-182
8. Харьковской М.В., Трофимов В.А. Оценка влияния естественной тяги на проветривание глубоких шахт. Сборник докладов на 10-й сессии Международного бюро по Горной Теплофизике при Всемирном Горном Конгрессе, Глевице, Польша. 2005. – 512 с. – С.231-237
9. Руководство по производству депрессионных и газовых съемок в угольных шахтах. – Донецк. НИИГД: 1989. –74с.
10. Гребенкин С.С., Булгаков Ю.Ф., Трофимов В.А. и др. Поддержание и проветривание выработок глубоких шахт Донбасса. Донецк: Каштан. – 2005. – С. 254
11. Каледина И.О., Романченко С.Б., Трофимов В.А. Компьютерное моделирование шахтных вентиляционных сетей: Методические указания. - М.: Издательство МГГУ.2004 – 72 с.
12. Каледина И.О., Романченко С.Б., Трофимов В.А., Горбатов В.А. Компьютерное моделирование задач противоаварийной защиты шахт: Методические указания. - М.: Издательство МГГУ. 2004. - Часть 1. – 45 с.
13. Трофимов В.А., Романченко С.Б. Методические указания по курсу «Моделирование шахтных вентиляционных сетей на ПЭВМ» Донецк: ДонНТУ.–2005. – 22 с.
14. Трофимов В.А., Романченко С.Б. Методические указания по практическим занятиям «Моделирование шахтных вентиляционных сетей на ПЭВМ» Донецк: ДонНТУ. –2005.–28 с.
15. М.А.Патрушев, Н.В. Карнаух Устойчивость проветривания угольных шахт. - М.: Недра, 1973. - 187 с.