



В. О. ТРОФИМОВ,
канд. техн. наук
(Гірничий факультет ДонНТУ)

УДК 622.4

Властивості паралельних вентиляційних з'єднань

Розглянуто закономірності розподілу витрат повітря в паралельному вентиляційному з'єднанні після зміни аеродинамічного опору однієї гілки з'єднання. Установлено зв'язок між змінами витрат повітря в окремих гілках і загальною зміною витрати повітря в паралельному з'єднанні. Проведено ідентифікацію умовно-паралельного з'єднання, узагальнено закономірності змін витрат повітря у вентиляційних мережах підземних споруд. Для перевірки дії закономірностей використано комп'ютерні моделі вентиляційних мереж підземних споруд. Сферу використання властивостей паралельних з'єднань визначено на підставі аналізу структури мережі й підрахунку розподілу витрат повітря у гілках вентиляційних з'єднань. Одержані результати мають наукову й практичну новизну.

Ключові слова: вентиляційна мережа, паралельне вентиляційне з'єднання, властивості вентиляційного з'єднання, зміни розподілу повітря.

Контактна інформація: violet@yandex.ua

Постановка проблеми. Питання розподілу повітря у вентиляційній мережі пов'язані з регулюванням розподілу або впливом природних і штучних чинників на режим вентиляції окремих частин підземної споруди. Вирішення цих питань потребує вивчення загальних закономірностей, які діють у вентиляційній мережі та в окремих вентиляційних з'єднаннях [1–4]. Сучасні уявлення про властивості вентиляційних з'єднань застаріли і не дають можливості передбачити розподіл витрат повітря в мережі в повному обсязі. Наприклад, наявність умовно-паралельних з'єднань у мережах вугільних шахт нині не ідентифікується [5–7], хоча кількість вузлів з такими з'єднаннями досягає 85 % кількості всіх вузлів шахтної вентиляційної мережі. Урахування властивостей вентиляційних з'єднань при визначенні стійкості руху повітря під час складання планів ліквідації аварії сприятиме гарантуванню безпеки людей у підземних спорудах.

Мета дослідження – встановлення закономірностей зміни витрат повітря і депресії між гілками паралельного з'єднання після зміни аероди-

намічного опору однієї з гілок та ідентифікація сфери використання закономірностей.

Для досягнення поставленої мети було виконано аналіз змін витрат і депресії повітря в паралельному з'єднанні, встановлено зв'язок між змінами в окремих гілках і загальною зміною у з'єднанні.

Похибку закономірностей перевіряли за допомогою комп'ютерних моделей вентиляційних мереж шахт і метрополітенів. Для візуалізації сенсу закономірностей паралельного з'єднання наведено численні приклади розподілу витрат повітря до і після зміни аеродинамічного опору окремих гілок вентиляційної мережі. Сферу використання властивостей паралельних з'єднань у вентиляційній мережі визначено на підставі аналізу структури вентиляційних з'єднань і результатів моделювання.

Виклад основного матеріалу й результатів дослідження. Розглянемо паралельне з'єднання двох гілок (рис. 1, гілки 1, 2). Воно утворює найменший вентиляційний контур 1–2–1 (замкнений маршрут із вузла 1 по гілці 1 до вузла 2 і повернення у вузол 1 по гілці 2). Особливістю цього з'єднання є те [1, 2, 5], що повітря з усіх його гілок виходить з одного загального вузла і входить у другий загальний (для цих гілок) вузол мережі (вузли 1, 2).

Для оцінювання наслідків регулювання розподілу витрат повітря в паралельному з'єднанні припустимо, що після збільшення опору гілки 1 (див. рис. 1) її депресія підвищилася, а витрата повітря зменшилася від Q_1 до Q'_1 . Одночасно в паралельній гілці 2 підвищилася витрата повітря від Q_2 до Q'_2 . При цьому витрата повітря усього паралельного з'єднання зменшилася від Q_z до Q'_z . Отже, у гілці 1 зміна витрати повітря становитиме

$$\Delta Q_1 = Q_1 - Q'_1 \quad (1)$$

Підвищення витрати повітря в гілці 2

$$\Delta Q_2 = Q'_2 - Q_2 \quad (2)$$

Загальна витрата повітря в паралельному з'єднанні зменшиться (як наслідок збільшення загального опору) і загальна зміна витрати повітря становитиме

$$\Delta Q_z = (Q_1 + Q_2) - (Q'_1 + Q'_2) \quad (3)$$

Перепишемо рівняння (3) з урахуванням рівнянь (1) та (2):

$$\Delta Q_z = \Delta Q_1 - \Delta Q_2 \quad (4)$$

Ураховуючи властивість вузла мережі (сума змін витрат повітря у вузлі дорівнює нулю [1–4]) і те, що найбільша зміна витрати повітря відбувається в гілці, де змінюється опір [1, 2], запишемо рівняння (4) у загальному вигляді:

$$|\Delta Q_r| = \sum_{i=1}^n |\Delta Q_i| + |\Delta Q_z| \quad (5)$$

де $|\Delta Q_r|$ – абсолютна зміна витрати повітря в гілці паралельного з'єднання зі зміненим аеродинамічним опором;

$\sum |\Delta Q_i|$ – сума абсолютних змін витрат повітря в тих гілках паралельного з'єднання, де опір не змінювався;

$|\Delta Q_z|$ – абсолютна зміна витрати повітря в паралельному з'єднанні після зміни опору гілки з'єднання.

Отже, сформулюємо нову властивість паралельного з'єднання: у разі зміни аеродинамічного опору однієї гілки паралельного з'єднання абсолютна зміна витрати повітря в цій гілці дорівнюватиме сумі абсолютних змін витрат у гілках, де опір не змінювався, і абсолютній зміні загальної витрати повітря паралельного з'єднання.

Для перевірки наявності властивості паралельного з'єднання використовували комп'ютерні моделі вентиляційних мереж шахт і метрополітенів України [8–10]. Зміну опору моделювали в паралельних, умовно-паралельних [2] з'єднаннях і в сукупності паралельних гілок-виробок

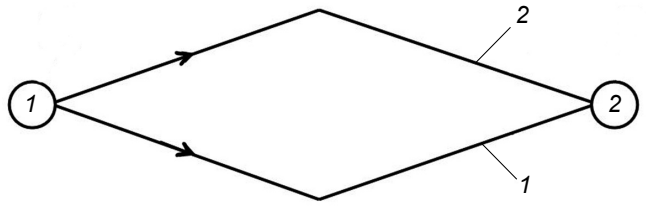


Рис. 1. Схема паралельного з'єднання двох гілок вентиляційної мережі.

з однаковим напрямком руху повітря. Умовно-паралельними з'єднаннями вважають з'єднання гілок (дві й більше), по яких повітря входить в один вузол або виходить з одного вузла мережі.

Як приклад розглянемо наявність властивості паралельного з'єднання в умовно-паралельному вентиляційному з'єднанні з трьох гілок (рис. 2, а). Умовно-паралельне з'єднання [2] утворюють гілки 142, 419 і 90 (повітря з цих трьох гілок входить у центральний вузол з'єднання – вузол 409). Загальна витрата повітря цього з'єднання (15,95 м³/с) виходить із вузла 409 по гілці 207.

Підвищуючи аеродинамічний опір гілки 419, змодельуємо новий розподіл витрат повітря (рис. 2, б). Загальні витрати повітря в умовно-паралельному з'єднанні зменшуються до 7,77 м³/с, тобто зміна витрат повітря в умовно-паралельному з'єднанні $|\Delta Q_z|$ дорівнює 8,18 м³/с. Сума абсолютних змін витрат повітря $\sum |\Delta Q_i|$ в гілках 90 і 142 становить 2,22 м³/с.

Зміна витрати повітря в гілці зі зміненим аеродинамічним опором

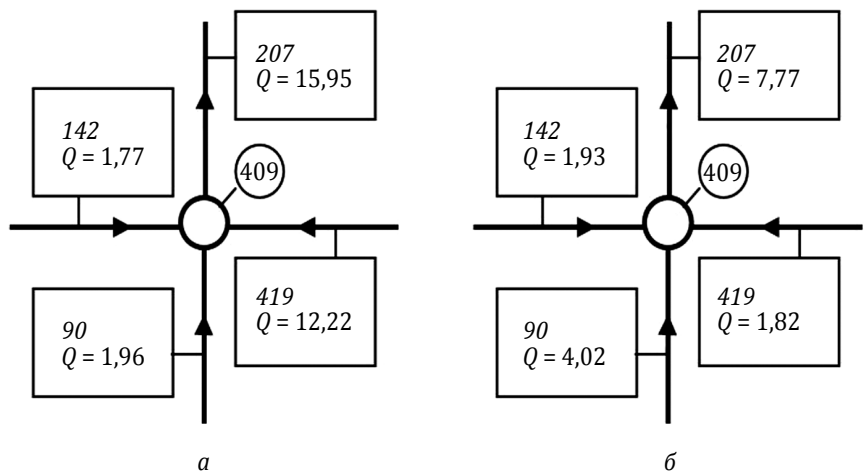


Рис. 2. Розподіл витрат повітря в умовно-паралельному з'єднанні: а – нормальні умови; б – після підвищення опору гілки 419.

$$|\Delta Q_r| = 12,22 - 1,82 = 10,4 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Отримаємо рівняння (5) після підрахунку: $2,22 + 8,18 = 10,4 \text{ м}^3/\text{с}$.

Особливістю отриманої закономірності є те, що вона діє незалежно від того, яку кількість гілок з'єднання враховуємо. Наприклад, візьмемо до уваги тільки дві гілки (див. рис. 2, а, б): гілку 419, де підвищується опір, і гілку 90 – об'єкт регулювання. Загальна витрата повітря і її зміна обчислюється тільки для цих двох гілок. Після підрахунку отримаємо: $2,06 + 8,34 = 10,4 \text{ м}^3/\text{с}$. Результат підрахунку з використанням рівняння (5) збігається з результатом комп'ютерного моделювання на 100 %.

Можна вважати, що рівняння (5) дає змогу визначити співвідношення змін витрати повітря у двох гілках паралельного з'єднання – у гілці-регуляторі та в гілці, яка є об'єктом регулювання витрати повітря. У цьому разі рівняння (5) набуває спрощеного вигляду:

$$|\Delta Q_r| = |\Delta Q_o| + |\Delta Q_z|, \quad (6)$$

де $|\Delta Q_r|$, $|\Delta Q_o|$ та $|\Delta Q_z|$ – абсолютна зміна витрати повітря в гілці-регуляторі, в об'єкті регулювання та загальної кількості повітря в гілці-регуляторі і об'єкті регулювання.

Аналіз умов руху і схем розподілу речовини в міських інженерних мережах [11, 12] свідчить, що властивості вентиляційних мереж [1–4] мають універсальний характер і сферу їх використання можна поширити на наявні мережі газо- й водопостачання.

Висновки. Установлено нові властивості паралельного й умовно-паралельного з'єднання гілок вентиляційної мережі: у разі зміни аеродинамічного опору однієї гілки паралельного або умовно-паралельного з'єднання значення абсолютної зміни витрати повітря в ній дорівнює сумі абсолютних змін витрати повітря в гілках з'єднання, де опір не змінювався, і абсолютній зміні загальної витрати повітря у з'єднанні.

Наявність схожих з вентиляційними мережами умов руху речовини в міських інженер-

них мережах газо- й водопостачання дає змогу припустити, що властивість паралельного з'єднання має універсальний характер і діє в усіх мережах з турбулентним рухом речовини.

ЛІТЕРАТУРА

1. Трофимов В. О. Аерологія шахтних вентиляційних мереж / В. О. Трофимов, Ю. Ф. Булгаков, О. Л. Кавера, М. В. Харьковий. – Донецьк: Норд-Прес, 2009. – 87 с.
2. Трофимов В. О. Закони і властивості вентиляційних мереж: монографія / В. О. Трофимов, О. Л. Кавера, Т. В. Костенко. – Хмельницький: ФОП Цюпак А. А., 2016. – 42 с.
3. Трофимов В. О. Властивості шахтної вентиляційної мережі / В. О. Трофимов, О. Л. Кавера, М. В. Харьковий // Вісті Донец. гірн. ін-ту: Всеукр. наук.-техн. журн. гірн. профілю. – Донецьк: ДонНТУ, 2009. – № 1. – С. 90–95.
4. Трофимов В. А. Свойства шахтної вентиляционной сети / В. А. Трофимов, Ю. Ф. Булгаков, А. Л. Кавера, М. В. Харьковий // Горн. информ.-аналит. бюл. – М.: Горн. книга, 2009. – № 13. – С. 21–28.
5. Аерологія гірничих підприємств: підручник / А. О. Гурін, П. В. Бересневич, А. А. Немченко, І. Б. Ошмянський. – Кривий Ріг: Вид. центр КТУ, 2007. – 462 с.
6. Руководство по проектированию вентиляции угольных шахт. – К.: Основа, 1994. – 311 с.
7. Правила безпеки у вугільних шахтах: НПАОП 10.0-1.01-10. – [Чинний від 2010-01-01]. – К.: Держгірпромнагляд України, 2010. – 212 с. – (Нормативно-правовий акт з охорони праці).
8. Каледина Н. О. Компьютерное моделирование шахтных вентиляционных сетей: метод. указания / Н. О. Каледина, С. Б. Романченко, В. А. Трофимов. – М.: Изд-во Моск. гос. горн. ун-та, 2004. – 72 с.
9. Потетюев С. Ю. Моделирование на ПЭВМ аварийных режимов работы вентиляционной сети метрополитена при пожаре / С. Ю. Потетюев, В. А. Трофимов // Пробл. пожарной безопасности: сб. науч. тр., спец. выпуск. – Х.: ХИПБ, 1999. – С. 10–13.
10. Потетюев С. Ю. Моделирование вентиляционной сети метрополитена на ПЭВМ / С. Ю. Потетюев, В. А. Трофимов // Спасение 2000: сб. докл. междунар. конф. – Х., 2000. – С. 323–326.
11. Шульга М. О. Инженерне обладнання населених місць: підручник / М. О. Шульга, І. Л. Деркач, О. О. Алексахін. – Х.: ХНАМГ, 2007. – 259 с.
12. Тугай А. М. Міські інженерні мережі та споруди: підручник / А. М. Тугай, В. О. Орлов, В. О. Шадура, С. Ю. Шадура. – К.: Укреліотех, 2010. – 256 с.