

УДК 622.4

В.О. ТРОФИМОВ (канд. техн. наук)

## ЗАКОНИ І ВЛАСТИВОСТІ ВЕНТИЛЯЦІЙНОЇ МЕРЕЖІ

У статті розглянуто результати досліджень властивостей вентиляційної мережі, пов'язані з регулюванням розподілу повітря. Визначено закономірності зміни розподілу повітря у вузлі мережі, зміни розподілу депресії у вентиляційному контурі і автоматичне відновлення дії законів мережі після зміни режиму вентиляції окремих гілок мережі. Вперше наведено правило змін розподілу повітря у гілках навколо вентиляційного контуру. Для перевірки дії закономірностей використовуються комп'ютерні моделі вентиляційних мереж підземних споруд. Використання отриманих закономірностей, при складанні та застосуванні планів ліквідації аварій, дозволяє підвищити безпеку людей в шахтах і метрополітенах. Отримані результати мають наукову і практичну новизну.

**Ключові слова:** вентиляційна мережа, вентиляційний контур, властивості вентиляційної мережі, розподіл повітря, правило вентиляційної мережі.

Зміст законів і властивостей вентиляційної мережі складає основи аерології вентиляційних мереж. Використання цього знання дає змогу аналізувати наслідки регулювання розподілу повітря або прогнозувати вплив аварійних чинників на вентиляцію споруди. Актуальність вивчення законів і властивостей вентиляційної мережі пов'язана, у першу чергу, з можливістю оперативно, без використання комп'ютерів, вирішувати задачі підвищення стійкості вентиляційних потоків і, тим самим, забезпечувати безпеку рятування людей і ліквідації аварій.

Властивості вентиляційної мережі пов'язані з дією законів мережі [1, 2]. У загальному випадку можна вважати, що властивості мережі описують реакцію мережі на виникнення вентиляційного збурення. Інакше кажучи, «властивості мережі» - це закономірності розподілу повітря і депресії в мережі чи її частині, після виникнення якогось чинника, який приводить до цих змін (встановлення або ліквідація вентиляційного регулятора, рух транспортних засобів, дія теплової депресії пожежі і т.і.).

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

$$\sum \Delta Q_i = 0 \quad (1)$$

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

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

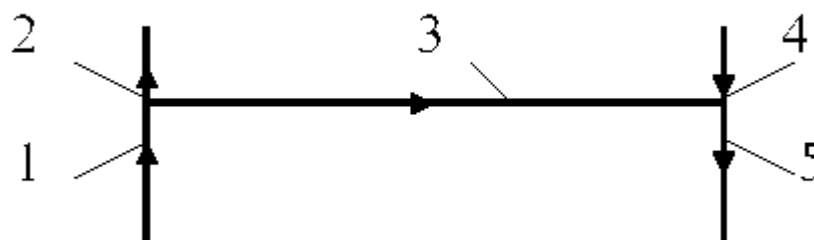


Рис. 1. Схема з'єднання гілок у двох вузлах

Важливою особливістю властивості узла є те, що абсолютна величина зміни витрати повітря, в гілці де змінюється опір, повсякчас буде більшою ніж в інших гілках, розташованих поруч

$$\Delta Q_3 > \Delta Q_2 > \Delta Q_1.$$

Наприклад, якщо після підвищення опору гілки 3 витрата повітря в цій гілці зменшилася на  $10 \text{ м}^3/\text{с}$  ( $\Delta Q_3 = 10 \text{ м}^3/\text{с}$ ), то в гілці 2 витрата повітря збільшиться тільки на  $7 \text{ м}^3/\text{с}$ , а в гілці 1 зменшиться на  $3 \text{ м}^3/\text{с}$ .

У загальному випадку можна визначити першу властивість регулювання – величина зміни витрати повітря в гілці-регуляторі ( $\Delta Q_p$ ) повсякчас більше зміни витрат в гілці, зв'язаною з гілкою-регулятором ( $\Delta Q_i$ )

$$\Delta Q_p > \Delta Q_i. \quad (2)$$

В разі зміни напрямку руху потоку повітря в гілці-діагоналі, зміна витрат в діагоналі ( $\Delta Q_d$ ) рахується як сума витрат повітря в гілці-діагоналі до ( $Q_{dn}$ ) і після ( $Q_{dp}$ ) перекидання потоку, без врахування напрямку руху

$$\Delta Q_d = Q_{dn} + Q_{dp}. \quad (3)$$

Властивість вентиляційного контуру: сума змін статичної депресії ( $\Delta h_i$ ) в гілках вентиляційного контуру, внаслідок зміни опору однієї з гілок цього контуру, дорівнює нулю

$$\sum \Delta h_i = 0. \quad (4)$$

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

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

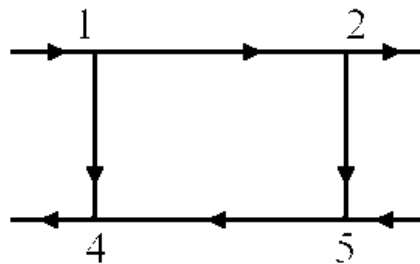


Рис. 2. Схема вентиляційного контуру

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

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

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

В разі перекидання потоку повітря в гілці-діагоналі, що належить до гілок контуру, зміна депресії діагоналі ( $\Delta h_d$ ) рахується як сума її депресій до ( $h_{dn}$ ) і після ( $h_{dp}$ ) перекидання потоку, без врахування напрямку руху

$$\Delta h_d = h_{dn} + h_{dp}. \quad (5)$$

Відповідно до (2) зміна депресії в гілці-регуляторі ( $\Delta h_p$ ) буде більшою, ніж в іншій гілці ( $\Delta h_i$ ), поєднаній з гілкою-регулятором (окрім гілок паралельного з'єднання, де зміни депресії однакові для усіх паралельних гілок)

$$\Delta h_p > \Delta h_i. \quad (6)$$

З перших двох властивостей мережі (1,3) витікає наступна властивість: при зміні режиму провітрювання будь-якої гілки вентиляційної мережі, внаслідок дії внутрішніх чинників, дія першого і другого законів мережі відновлюється автоматично.

Вищенаведене дозволяє припустити, що існують закономірності щодо зміни витрат повітря яке потрапляє у вентиляційний контур і виходить з нього. Розглянемо умови потрапляння

повітря у контур і виходу з контуру на прикладі реальної схеми вентиляції частини шахти (рис. 3).

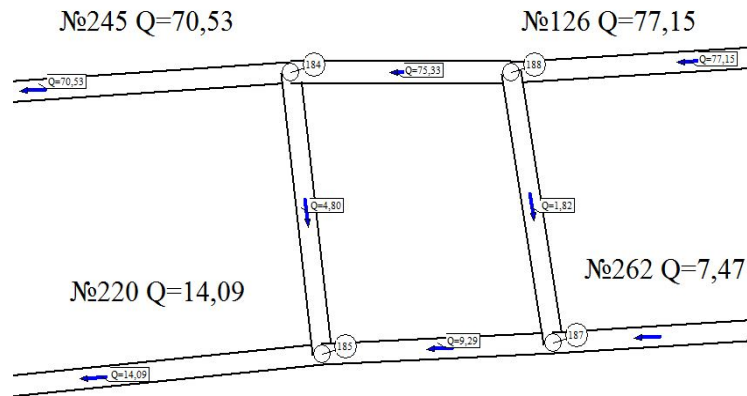


Рис. 3. Схема розподілу повітря до регулювання

На схемі наведено розподіл повітря у гілках, по яких повітря потрапляє у контур 188-187-185-184-188 (№126, 262) і виходить з контуру (№220, 245). Після підвищення опору гілки 126 розподіл повітря змінюється (рис.4).

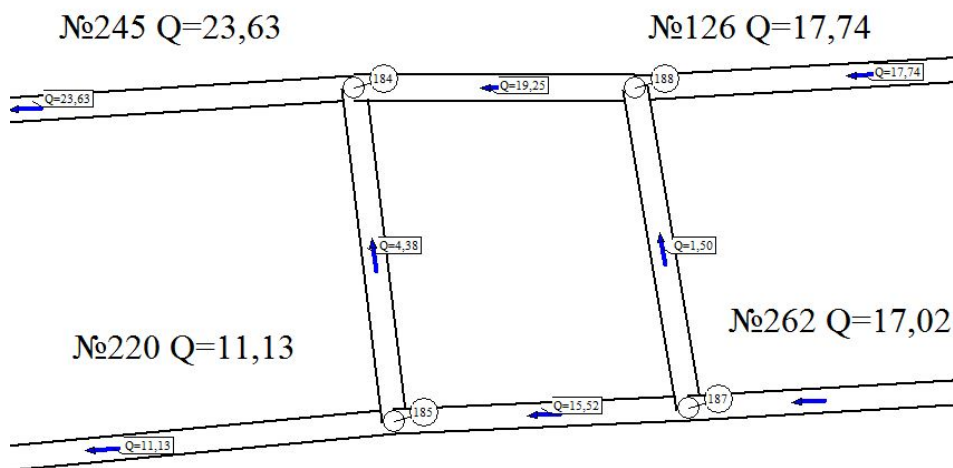


Рис. 4. Схема розподілу повітря після підвищення опору гілки 126

Аналіз результатів моделювання зміни опору гілки 126 показав, що відносно вентиляційного контуру виконується закономірність схожа на властивість вузла мережі (1). Отже, зміна витрат повітря в гілці (внаслідок зміни її опору), по якій повітря надходить у контур або виходить з нього ( $\Delta Q_{rk}$ ), дорівнює сумі змін витрат повітря в інших гілках ( $\Delta Q_{ik}$ ), зв'язаних з цим контуром

$$\begin{cases} \Delta Q_{126} = \Delta Q_{262} + \Delta Q_{220} + \Delta Q_{245} \\ 59,5 = 9,6 + 2,9 + 46,9 \end{cases}$$

Таж сама властивість у загальному вигляді

$$\Delta Q_{rk} = \sum \Delta Q_{ik} \quad (7)$$

Отримана властивість дозволяє припустити, що сума витрат повітря усіх вузлів вентиляційного контуру дорівнює нулю. Тобто, сума витрат повітря, що потрапляє по гілках в усі вузли певного вентиляційного контуру, дорівнює сумі витрат повітря, що виходить з усіх вузлів цього контуру. Перевірка цього припущення показала, що існує певне правило, щодо повітря, яке потрапляє у вентиляційний контур і виходить з нього. Воно зв'язано з тим, що усі гілки, що

належать до певного контуру, одночасно є гілками по яких повітря входить до вузлів і виходить з вузлів. Це означає, що залежність розподілу повітря виконується тільки для гілок, які зв'язані з контуром але не належать до нього.

Поняття «входить у вентиляційний контур» означає, що повітря по певних гілках підходить до вузлів, що складають певний вентиляційний контур, а поняття «виходить із вентиляційного контуру» – повітря по гілках виходить із вузлів цього ж вентиляційного контуру. Так, наприклад, сума витрат повітря у гілках 126, 262 (див. рис. 3), що входять у контур, дорівнює сумі витрат у гілках 220 і 245, що виходять із контуру 188-187-185-184-188

$$77,15 + 7,47 = 70,53 + 14,9 \\ 84,63 = 84,63.$$

Після регулювання (див. рис.4) співвідношення витрат в тих самих гілках не змінюється – сума витрат повітря, що потрапляє у вузли контуру, дорівнює витратам повітря, що виходить із вузлів контуру

$$17,74 + 17,02 = 23,63 + 11,13 \\ 34,76 = 34,76$$

Виконання цієї залежності можна розглянути на прикладі більш складного вентиляційного контуру 227-226-225-243-242-239-237-227 (рис. 5).

Рівність суми витрат повітря в гілках, по яких повітря потрапляє у вузли контуру і виходить із нього має такий вигляд

$$\left\{ \begin{array}{l} Q_{514} + Q_{190} + Q_{145} = Q_{227} + Q_{182} + Q_{558} \\ 47,44 + 6,3 + 48,3 = 41,59 + 7,1 + 53,35. \end{array} \right.$$

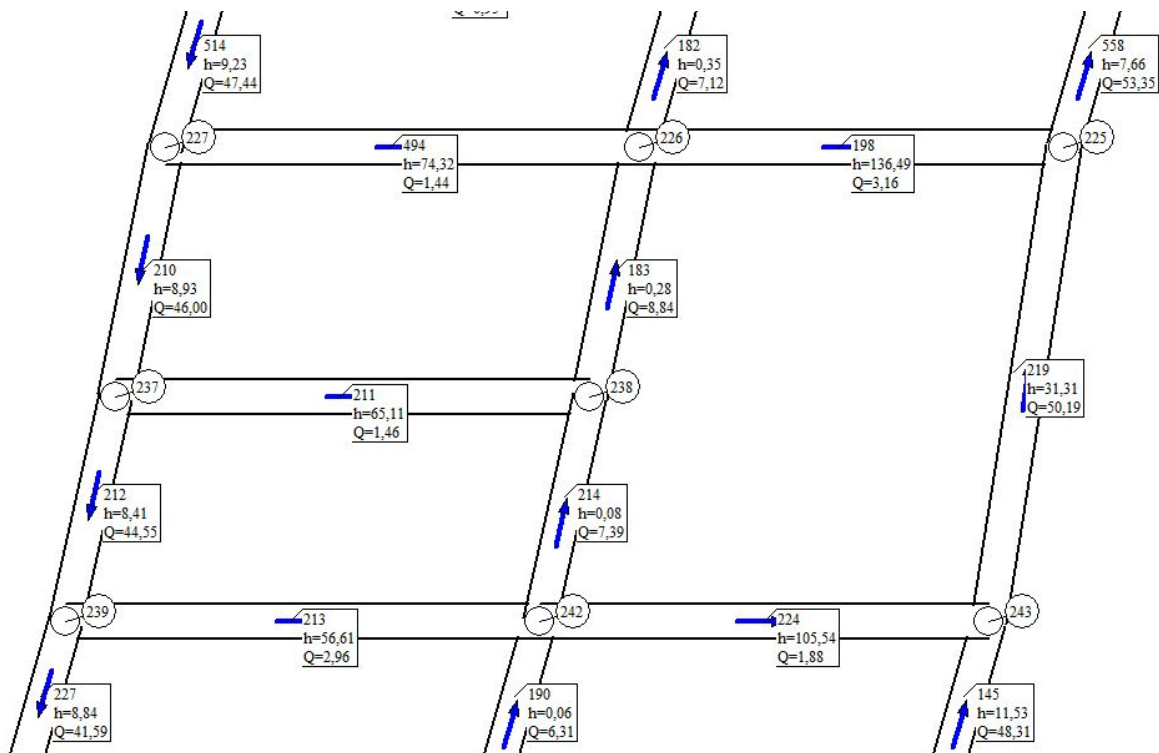


Рис. 5. Схема складного вентиляційного контуру

Наведений аналіз розподілу повітря (по даним комп'ютерного моделювання реальних шахт) і досвід моделювання вентиляційних мереж підземних споруд [3 - 5] дозволяє стверджувати, що окрім двох законів (перший і другий закон Густава Кірхгофа) існує окреме правило вентиляційної мережі. Воно торкається розподілу повітря біля вентиляційного контуру: сума витрат повітря, що входить у вентиляційний контур ( $\sum Q_{iv}$ ), дорівнює сумі витрат повітря, що виходить із цього ж вентиляційного контуру ( $\sum Q_{iv}$ )

$$\sum Q_{iw} = \sum Q_{iv} \quad (8)$$

Визначена закономірність (8) сформульована вперше і має наукову і практичну новизну.

**Висновки.** Наведені властивості вузла і вентиляційного контуру, які дозволяють визначити якісний зв'язок між змінами витрат повітря і депресій у вузлі і вентиляційному контурі:

сума змін витрат повітря у вузлі вентиляційної мережі, при зміні опору гілки, яка пов'язана з цим вузлом, дорівнює нулю;

сума змін депресії в гілках вентиляційного контуру, внаслідок зміни опору однієї з гілок цього контуру, дорівнює нулю;

зміна витрат повітря в гілці (внаслідок зміни її опору), по якій повітря надходить у контур або виходить з нього, дорівнює сумі змін витрат повітря в інших гілках, зв'язаних з цим контуром.

Вперше в теорії вентиляційних мереж визначено правило вентиляційної мережі: сума витрат повітря, що входить у вентиляційний контур, дорівнює сумі витрат повітря, що виходить із цього ж вентиляційного контуру.

### Бібліографічний список

1. Трофимов В.О., Кавера О.Л., Харьковской М.В. Властивості шахтної вентиляційної мережі. Вісті Донецького гірничого інституту: Всеукраїнський науково-технічний журнал гірничого профілю/ Донецьк: ДонНТУ, 2009. – №1, С.90-95.
2. Трофимов В.О., Булгаков Ю.Ф., Кавера О.Л., Харьковский М.В. Аерология шахтных вентиляционных сетей. – Донецьк, 2009. – 87 с.
3. Болбат И.Э., Лебедев В.И., Трофимов В.А. Аварийные вентиляционные режимы в угольных шахтах. – М.: Недра. – 1992. – 206 С.
4. Потетюев С.Ю., Соловей В.В., Трофимов В.А. Моделирование на ПЭВМ аварийных режимов работы вентиляционной сети метрополитена при пожаре. Сб.науч.тр.- Спец.выпуск,-Харьков: ХИПБ, 1999. – С.10-13.
5. Булгаков Ю.Ф., Трофимов В.О., Кавера О.Л., Николаев С.Б. Компьютерное моделирование аварийных вентиляционных режимов. Навчальний посібник. - Донецьк: Норд-Прес. 2014. - 68 С.

Надійшла до редакції 24.12.2015

### В. А. Трофимов

#### ЗАКОНЫ И СВОЙСТВА ВЕНТИЛЯЦИОННОЙ СЕТИ

В статье рассмотрены результаты исследований свойств вентиляционной сети, связанные с регулированием распределения воздуха. Определены закономерности изменения распределения воздуха в узле сети, изменения распределения депрессии в вентиляционном контуре и автоматическое восстановление действия законов сети после изменения режима вентиляции отдельных ветвей сети. Впервые введено правило изменений распределения воздуха в ветвях вокруг вентиляционного контура. Для проверки действия закономерностей используются компьютерные модели вентиляционных сетей подземных сооружений. Использование полученных закономерностей при составлении и применении планов ликвидации аварий, позволяет повысить безопасность людей в шахтах и метрополитенах. Полученные результаты имеют научную и практическую новизну.

**Ключевые слова:** вентиляционная сеть, вентиляционный контур, свойства вентиляционной сети, распределение воздуха, правило вентиляционной сети.

### V.A.Trofimov

#### LAWS AND PROPERTIES VENTILATION NETWORK

In the article the results of investigations of the properties of ventilation network is associated with regulation of air distribution. The regularities of changes in the distribution of air in the network node, modify the distribution depress in the ventilation circuit and automatic recovery actions of the laws of the network after changing the ventilation mode of the individual branches of the network. First the rule changes in the distribution of air in the branches around the ventilation circuit. To check the validity of the laws used computer models of ventilation networks of underground constructions. The use of patterns obtained when the preparation and implementation of emergency response plans, to improve the safety of people in mines and subways. The results are of scientific and practical novelty.

**Keywords:** ventilation network, the ventilation circuit properties ventilation system, air distribution, ventilation network rule.