

*В.О. Трофимов, канд. техн. наук, ст. наук. співр., Т.В. Костенко, канд. техн. наук
(Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля НУЦЗ України)*

ВЛАСТИВОСТІ ПОСЛІДОВНОГО ВЕНТИЛЯЦІЙНОГО З'ЄДНАННЯ

Розглянуто властивості послідовного і умовно-послідовного з'єднання гілок вентиляційних мереж, знання яких дають змогу оцінити якісні результати регулювання розподілу газу/рідини і наслідки аварійних змін в інженерних мережах будівель і підземних споруд. Властивості послідовних з'єднань можна використовувати при проектуванні і експлуатації мереж пожежного водопостачання. Використання закономірностей розподілу газів (рідин) в інженерних мережах при складанні планів ліквідації аварій, дає змогу підвищити безпеку людей в будівлях і підземних спорудах.

Ключові слова: вентиляційні мережі, депресія, послідовне з'єднання, закономірності розподілу, витрата газу.

В.А. Трофимов, Т.В. Костенко

СВОЙСТВА ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО ВЕНТИЛЯЦИОННОГО СОЕДИНЕНИЯ

Рассмотрено свойства последовательного и условно-последовательного соединений ветвей вентиляционных сетей, знание которых позволяют оценить качественные результаты регулирования распределения газа (жидкости) и последствия аварийных изменений в инженерных сетях зданий и подземных сооружений. Свойства последовательных соединений можно использовать при проектировании и эксплуатации сетей пожарного водоснабжения. Использование закономерностей распределения газов/жидкостей в инженерных сетях при составлении планов ликвидации аварий, позволяет повысить безопасность людей в зданиях и подземных сооружениях.

Ключевые слова: вентиляционные сети, депрессия, последовательное соединение, закономерности распределения, расход газа.

V. Trofimov, T. Kostenko

PROPERTIES OF THE CONSISTENT VENT CONNECTIONS

The article describes properties of consistent and conditionally consistent connections of branches of ventilation networks. Knowledge of these properties allows to evaluate the qualitative results of regulation the gas (liquid) distribution and the effects of changes in the alarm of engineering networks buildings and underground facilities. Properties of serial connections is possible to use at designing and exploitation of fire water networks. Use of gas (liquids) distribution regularities in engineering networks at drawing up accidents elimination plans can improve the safety of people in buildings and underground installations.

Keywords: ventilation network, depression, consistent connection, laws of distribution, gas consumption.

Постановка проблеми. Властивості вентиляційного з'єднання - це закономірності розподілу депресії і витрати повітря між гілками з'єднання, після зміни опору однієї гілки в цьому з'єднанні. Знання властивостей послідовних з'єднань дає змогу передбачити збільшення або зменшення витрати газу/рідини і депресії в гілках вентиляційної мережі підземної споруди і в інженерних мережах, після регулювання розподілу або в аварійних умовах. Використання властивостей послідовних з'єднань гілок в мережах дає змогу вирішувати питання безпечної евакуації людей при складанні планів ліквідації аварій для підземних споруд і об'єктів на поверхні землі. З огляду на вищевикладене, вивчення властивостей вентиляційних з'єднань і міських інженерних мереж є актуальною науковою і практичною задачею.

Виклад основного матеріалу. Розглянемо закономірності змін депресії в послідовному з'єднанні на прикладі з'єднання трьох гілок (рис. 1).

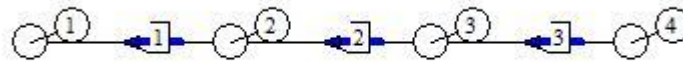


Рисунок 1 – Схема послідовного з'єднання

Депресія послідовного з'єднання (h_z) дорівнює сумі депресій його гілок [1, 2]. Так, в послідовному з'єднанні з трьох гілок, депресія з'єднання складається з трьох депресій ($h_1 + h_2 + h_3$)

$$h_z = h_1 + h_2 + h_3 \quad (1)$$

Якщо, наприклад, збільшити опір гілки 1, то станеться перерозподіл депресії: депресія цієї гілки збільшиться до h'_1 (максимальна зміна депресії і витрати повітря відбувається в тій гілці, де змінюється опір [2]), а депресія гілок 2 і 3 зменшиться, відповідно, до h'_2 і h'_3 . Загальна депресія з'єднання (h'_z) теж збільшиться, внаслідок збільшення загального опору з'єднання.

$$h'_z = h'_1 + h'_2 + h'_3 \quad (2)$$

Різниця депресій між з'єднанням зі зміненим опором і початковим з'єднанням має такий вигляд

$$\Delta h_z = \Delta h_1 - \Delta h_2 - \Delta h_3 = \Delta h_1 - (\Delta h_2 + \Delta h_3) = \Delta h_1 - \sum \Delta h_i \quad (3)$$

де Δh_z – різниця депресії послідовного з'єднання після зміни і до зміни опору ($h'_z - h_z$); Δh_1 – різниця депресії гілки послідовного з'єднання після зміни і до зміни її опору ($h'_1 - h_1$); $\sum_1^n \Delta h_i$ – сума змін депресії в гілках (гілки) з незмінним опором ($\Delta h_2 + \Delta h_3$).

На підставі (3), можна стверджувати, що в послідовному з'єднанні діє закономірність: в разі зміни опору гілки послідовного з'єднання, абсолютна величина зміна депресії цієї гілки дорівнюватиме сумі абсолютних змін депресій інших гілок цього ж з'єднання і зміни його загальної депресії

$$\Delta h_r = \sum_1^n \Delta h_i + \Delta h_z \quad (4)$$

де Δh_r – зміна депресії в гілці із змінним опором.

З властивості (4) випливає така властивість послідовного з'єднання: абсолютна величина зміни депресії, в гілці із зміненим опором, завжди більшою за суму абсолютних змін в інших гілках послідовного з'єднання

$$\Delta h_r \geq \sum_1^n \Delta h_i \quad (5)$$

Розглянемо можливість дії властивості послідовного з'єднання в умовно-послідовному з'єднанні. Умовно-послідовним з'єднанням будемо вважати маршрут з гілок з однаковим напрямком руху повітря. Наприклад (рис.2), умовно-послідовним з'єднанням є маршрут між вузлами 1-2-3-4 (4-3-2-1) або 1-2-3-6 (6-3-2-1). Інакше кажучи, умовно-послідовне з'єднання складається з гілок, за якими ми рухаємося (подумки) тільки по напрямку або тільки назустріч руху вентиляційного потоку.

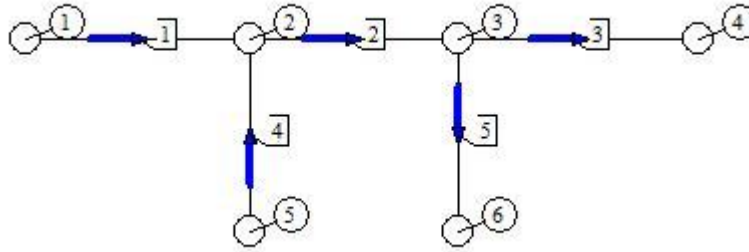


Рисунок 2 – Схема з'єднання гілок вентиляційної мережі

Для перевірки існування властивості послідовного з'єднання в мережі, змодельємо зміни опору гілки за допомогою комп'ютерної моделі [3, 4] вугільної шахти (рис. 3). Розглянемо зміни депресії в умовно-послідовному з'єднанні гілок 237 і 242, розташованому між вузлами 227-231-230.

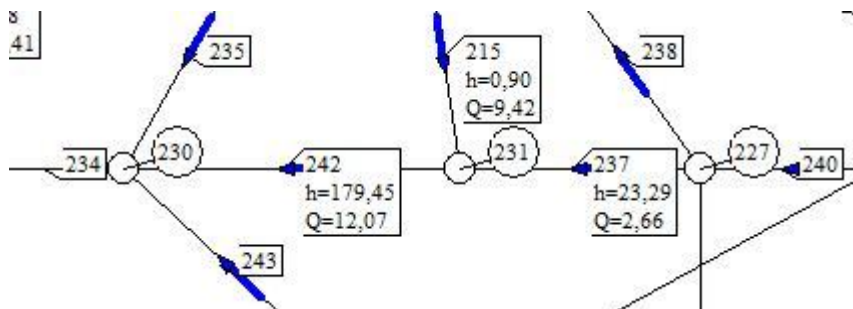


Рисунок 3 – Частина схеми вентиляційної мережі шахти

Депресія з'єднання (h_z) дорівнює сумі депресій двох гілок ($h_{237} + h_{242}$)

$$h_z = h_{237} + h_{242} = 23,29 + 179,45 = 202,74 \text{ Па}$$

Підвищимо опір гілки 242 і змодельємо новий розподіл депресії і витрати повітря (рис. 4).

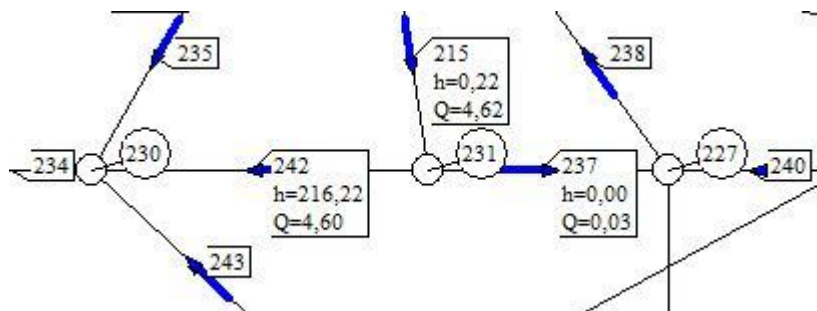


Рисунок 4 – Схема частини вентиляційної мережі з розподілом депресії в гілках умовно-послідовного з'єднання

Аналіз результатів моделювання дає змогу стверджувати, що після підвищення опору гілки 242 (приблизно в 10 разів) рух повітря в гілці 237 припиниться ($h'_{237} = 0 \text{ Па}$; $Q = 0,03 \text{ м}^3/\text{с}$). Тобто, зміна депресії в гілці-діагоналі (237) дорівнює величині депресії цієї гілки до зміни опору гілці 242.

$$\Delta h_{237} = h_{237} = 23,29 \text{ Па}$$

Нова депресія умовно-послідовного з'єднання дорівнює сумі

$$h'_z = h'_{237} + h'_{242} = 0 + 216,22 = 216,22 \text{ Па}$$

Зміна загальної депресії умовно-послідовного з'єднання дорівнює

$$\Delta h_z = h'_z - \Delta h_z = 216,22 - 202,74 = 13,48 \text{ Па}$$

Зміна депресії гілки зі збільшеним опором (Δh_{242}) становить

$$\Delta h_{242} = h'_{242} - \Delta h_{242} = 216,22 - 179,45 = 36,77 \text{ Па}$$

Таким чином, зміна депресії в гілці 242 дорівнює сумі змін в гілці 237 і зміни депресії всього умовно-послідовного з'єднання (Δh_z)

$$36,77 = 23,29 + 13,48.$$

У разі зменшення опору гілки 242 (в 10 разів) отримаємо інший розподіл депресій і витрат повітря (рис. 5).

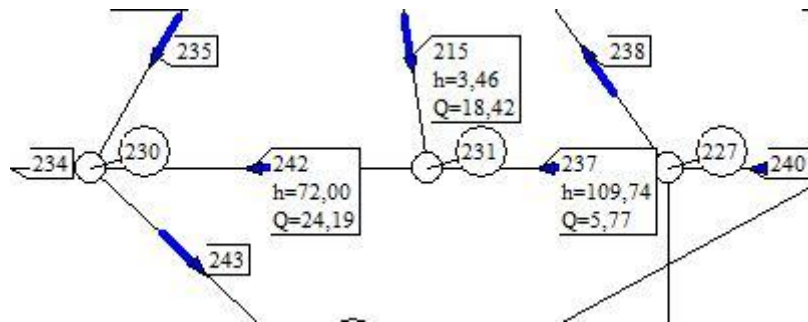


Рисунок 5 – Схема частини мережі з розподілом депресії і витратами повітря після зменшення опору гілки 242

Аналіз результатів комп'ютерного моделювання показує, що після зменшення опору гілки 242 депресія цієї гілки зменшилася на 107,45 Па.

$$\Delta h_{242} = 179,45 - 72,0 = 107,45 \text{ Па.}$$

Депресія гілки 237 збільшилася на 86,45 Па.

$$\Delta h_{237} = 109,74 - 23,29 = 86,45 \text{ Па.}$$

Загальна депресія умовно-паралельного з'єднання зменшилася на 21,0 Па

$$\Delta h_z = 202,74 - 181,74 = 21,0 \text{ Па.}$$

Таким чином, можна стверджувати, що рівняння 4 виконується і в умовно-паралельному з'єднанні гілок

$$\begin{aligned} \Delta h_{242} &= \Delta h_{237} + \Delta h_z \\ 107,45 &= 86,45 + 21,0. \end{aligned}$$

Аналогічний результат отримуємо і для умовно-послідовного з'єднання гілок 215 і 242.

Наявність закономірності (4) дає змогу припустити, що існує універсальна закономірність між зміною депресії в гілці-регуляторі (гілка-регулятор – це гілка, в якій планується зміна аеродинамічного опору, для зміни режиму провітрювання об'єкта регулювання) і в гілці – об'єкті регулювання. Для перевірки цього припущення розглянемо зміну розподілу депресії в умовно-послідовному з'єднанні трьох гілок (рис. 6, гілки 240, 237, 242).

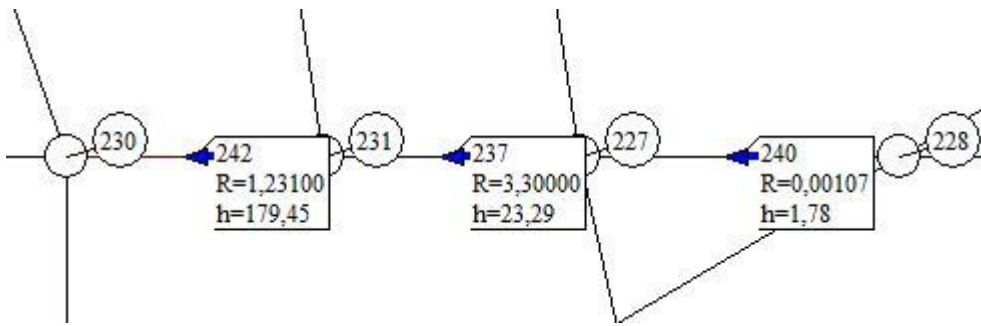


Рисунок 6 – Схема умовно-послідовного з'єднання трьох гілок

Збільшимо аеродинамічний опір гілки-регулятора (гілка 240) і зробимо комп'ютерне моделювання розподілення повітря і депресії з урахуванням цієї зміни (рис. 7).

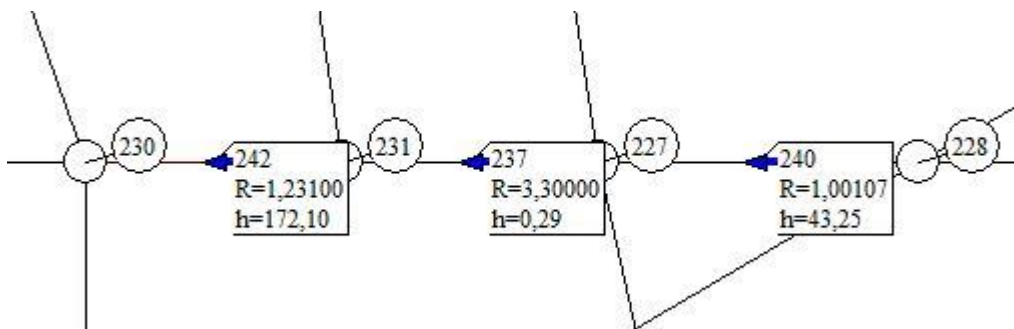


Рисунок 7 – Схема розподілу депресії в з'єднанні після збільшення опору гілки 240

Аналіз отриманого розподілу показує, що абсолютна величина зміни депресії в гілці-регуляторі 240 дорівнює зміні суми депресій в двох розглянутих гілках (гілка-регулятор 240 і об'єкт регулювання – гілка 242) і абсолютній величині зміни депресії об'єкта регулювання

$$41,47 = 34,12 + 7,35.$$

У загальному вигляді можна записати

$$\Delta h_R = \Delta h_z + \Delta h_o \quad (6)$$

Рівняння (6) означає, що при регулюванні в послідовному (умовно-послідовному) з'єднанні зміна депресії гілки-регулятора буде дорівнювати сумі зміни депресії об'єкта регулювання і зміни загальної депресії двох гілок (об'єкт регулювання і гілка-регулятор).

Отриманий результат було перевірено в умовах дванадцяти шахт України та комп'ютерної моделі гілки Харківського метрополітену. У всіх випадках точність розрахунку за допомогою рівняння 6 становила 100%.

На підставі аналізу результатів комп'ютерного моделювання можна стверджувати, що закономірність (6) діє для будь-якої пари гілок (груп гілок) маршруту з послідовним рухом повітря по усім гілках.

Аналіз умов руху, схем розподілу газів і рідин в міських інженерних мережах [6,7], дає змогу стверджувати, що властивості вентиляційних мереж [1,2] універсальні і область їх застосування охоплює усі інженерні мережі, по яких рухаються гази або рідини.

Висновки

1. Встановлено властивості послідовного і умовно-послідовного з'єднань гілок:

– в разі зміни аеродинамічного опору гілки послідовного/умовно-послідовного з'єднання, абсолютна величина зміни депресії цієї гілки дорівнюватиме сумі абсолютних змін депресій інших гілок цього ж з'єднання, плюс абсолютна величина зміни загальної депресії гілок, що входять у з'єднання;

– абсолютна величина зміни депресії в гілці, зі зміненим опором, завжди більша від суми абсолютних змін в інших гілках послідовного/умовно-послідовного з'єднання;

2. Знання властивостей послідовного і умовно-послідовного з'єднань в мережі дають змогу оцінити якісні результати регулювання розподілу газу/рідини і наслідки аварійних змін в інженерних мережах будівель і підземних споруд, а також дозволяють вирішувати питання безпечної евакуації при складанні планів ліквідації аварій.

3. Властивості послідовних з'єднань можна також використовувати при проектуванні і експлуатації мереж пожежного водопостачання.

4. Використання закономірностей розподілу газів / рідин в інженерних мережах, при складанні планів ліквідації аварій, дає змогу підвищити безпеку людей в будівлях і підземних спорудах.

Список літератури:

1. Аерологія гірничих підприємств : підручник / Гурін А. О., Бересневич П.В., Немченко А. А., Ошмянський І. Б. – Кривий Ріг : Видавничий центр КТУ, 2007 – 462 с.

2. Аерологія шахтних вентиляційних мереж / Трофимов В. О, Булгаков Ю. Ф., Кавера О.Л., Харьковий М. В. – Донецьк, 2009. – 87 с.

3. Каледина Н.О., Романченко С.Б., Трофимов В.А. Компьютерное моделирование шахтных вентиляционных сетей: Методические указания. – М.: Из-во Московского государственного горного университета. – 2004. – 72 с.

4. Галайко К. О., Трофимов В. О., Фищук О. В. Комп'ютерна програма «IRS «Вентиляція шахт-ЕПЛА». Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 31671, Державний департамент інтелектуальної власності, Київ, 2010. – 1 с.

5. Шульга М. О. Інженерне обладнання населених місць : підручник / Шульга М. О., Деркач І. Л., Алексахін О. О.. — Харків: ХНАМГ, 2007. — 259 с.

6. Міські інженерні мережі та споруди : підручник / Тугай А. М., Орлов В. О., Шадура В. О., Шадура С. Ю. – Київ : Укреліотех, 2010. – 256 с.

References:

1. Hurin, A.O., Beresnevych, P.V., Nemchenko, A.A., Oshmianskiy, I.B. (2007). *Aerolohiia hirnychykh pidpriemstv : Pidruchnyk [Aerology of mining enterprises: Textbook.]* Kryvyi Rih: Publishing center KTU (in Ukr.)

2. Trofymov, V.O., Bulhakov, Yu.F., Kaviera, O.L., Kharkoviyi, M.V. (2009) *Aerolohiia shakhtnykh ventilyatsiinykh merezh [Aerology of mine ventilation networks].* Donetsk (in Ukr.)

3. Kaledina, N.O., Romanchenko, S.B., Trofimov, V.A. (2004). *Kompyuternoe modelirovanie shahtnykh ventilyatsionnykh setey: Metodicheskie ukazaniya. [Computer simulation of mine ventilation networks: Methodical instructions].* Moscow: Publishing house of the Moscow State Mining University. (in Russ.)

4. Halaiko, K.O., Trofymov, V.O., Fyshchuk, O.V. (2010). *Kompiuterna prohrama «IRS «Ventyliatsiia shakht-EPLA». [Computer program «IRS «Ventilation of mines-EAEP»].* Registration certificate of copyright no. 31671, State Department of intellectual property. Kyiv (in Ukr.)

5. Shulha, M.O., Derkach, I.L., Aleksakhin, O.O. (2007). *Inzhenerne obladdannia naselenykh mist: Pidruchnyk. [Engineering equipment of settlements: Textbook].* Kharkiv: KhNAMH (in Ukr.)

6. Tuhai, A.M., Orlov, V.O., Shadura, V.O., Shadura, S.Yu. (2010). *Miski inzhenerni merezhi ta sporudy: Pidruchnyk. [City engineering networks and facilities: Textbook.]* Kyiv: Ukrhelioteh (in Ukr.)

