

УДК 622.4

В.О. ТРОФИМОВ, (канд. техн. наук, с.н.с.)

Т. В.КОСТЕНКО (канд. техн. наук)

Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля Національного університету цивільного захисту України

ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТІ ВЕНТИЛЯЦІЙНОЇ МЕРЕЖІ

В статті досліджуються властивості вентиляційної мережі і особливості регулювання розподілу повітря в вентиляційній мережі. В умовах сучасних підземних споруд потрібно приймати оперативні рішення по регулюванню розподілу повітря в нормальних та аварійних умовах. В той же час, в існуючій методичній літературі і застарілих підручниках з аерології відсутні засади аналізу наслідків позитивного і негативного регулювання розподілу повітря в вентиляційній мережі. Для визначення закономірностей регулювання розподілу повітря використовується графоаналітичний метод і комп'ютерне моделювання вентиляційних мереж. Основу графоаналітичного методу складає визначення режимів вентиляції окремих гілок за допомогою приведених і аеродинамічних характеристик. Комп'ютерне моделювання підтвердило припущення, що кут нахилу приведеної характеристики паралельного з'єднання впливає на співвідношення змін витрат повітря в гілках паралельного з'єднання.

Ключові слова: вентиляційна мережа, регулювання, розподіл повітря, комп'ютерне моделювання, властивості вентиляційної мережі.

Питання регулювання розподілу повітря у вентиляційній мережі пов'язані з оцінкою впливу природних і штучних чинників на режим вентиляції окремих частин споруди (шахта, метрополітен, тунель, будівля). До природних чинників можна віднести дію природної тяги у похилих та вертикальних вентиляційних каналах або руйнування каналів в наслідок аварії. У якості штучних чинників розглядаємо різні вентиляційні регулятори або пристрої, які можна використовувати у якості вентиляційних регуляторів (двері, шлюзи, вікна, повітряні зависи і т.п.). Дослідження питань регулювання розподілу повітря в мережі пов'язане з пошуком загальних закономірностей, які діють у вентиляційній мережі. Знання цих закономірностей дозволяє прогнозувати наслідки регулювання розподілу повітря у вентиляційній мережі споруди і оперативно вирішувати питання забезпечення стійкого провітрювання в нормальних і аварійних умовах.

В існуючій методичній літературі і застарілих підручниках з аерології відсутні засади аналізу наслідків позитивного і негативного регулювання розподілу повітря в вентиляційних мережах сучасних споруд.

Мета цієї роботи – дослідження впливу кута нахилу приведеної характеристики гілки вентиляційної мережі на співвідношення змін витрат повітря при негативному регулюванні розподілу повітря в паралельному з'єднанні.

Для досягнення поставленої мети використовуємо графоаналітичний метод дослідження [1]. Він дозволяє візуалізувати зображення аеродинамічних і приведених характеристик у вигляді графіків (приведена характеристика гілки – лінія, на якій розташовані усі можливі режими її провітрювання). Пересікання графіків характеристик визначає точки, які характеризують режими вентиляції гілок паралельного з'єднання. По зміні координат цих точок можна робити висновок про вплив кута нахилу приведених характеристик на співвідношення змін витрат повітря. Перевірка результатів теоретичного аналізу виконується по результатам комп'ютерного моделювання регулювання розподілу повітря у вентиляційній мережі.

Розглянемо закономірності розподілу витрат повітря на прикладі паралельного з'єднання двох гілок (рис. 1, гілки 1 і 2).

Припустимо, що обидві гілки паралельного з'єднання [2] мають однаковий аеродинамічний опір і їх характеристики виглядають як параболи ($R_1=R_2$), а режим вентиляції кожної з них визначають координати точки N (рис. 2). Режим вентиляції усього паралельного з'єднання визначає точка M пересікання аеродинамічної характеристики паралельного з'єднання (лінія R_{II}) з приведеною характеристикою паралельного з'єднання (лінія 1).

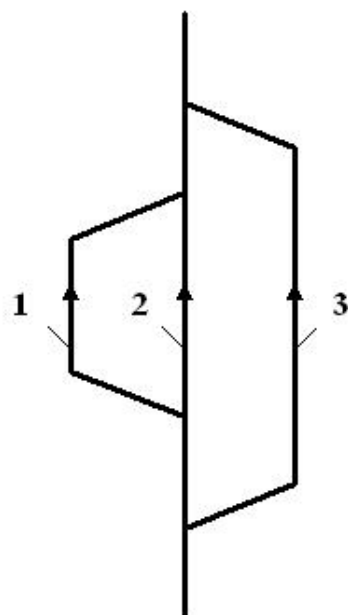


Рис. 1. Схема паралельного з'єднання гілок

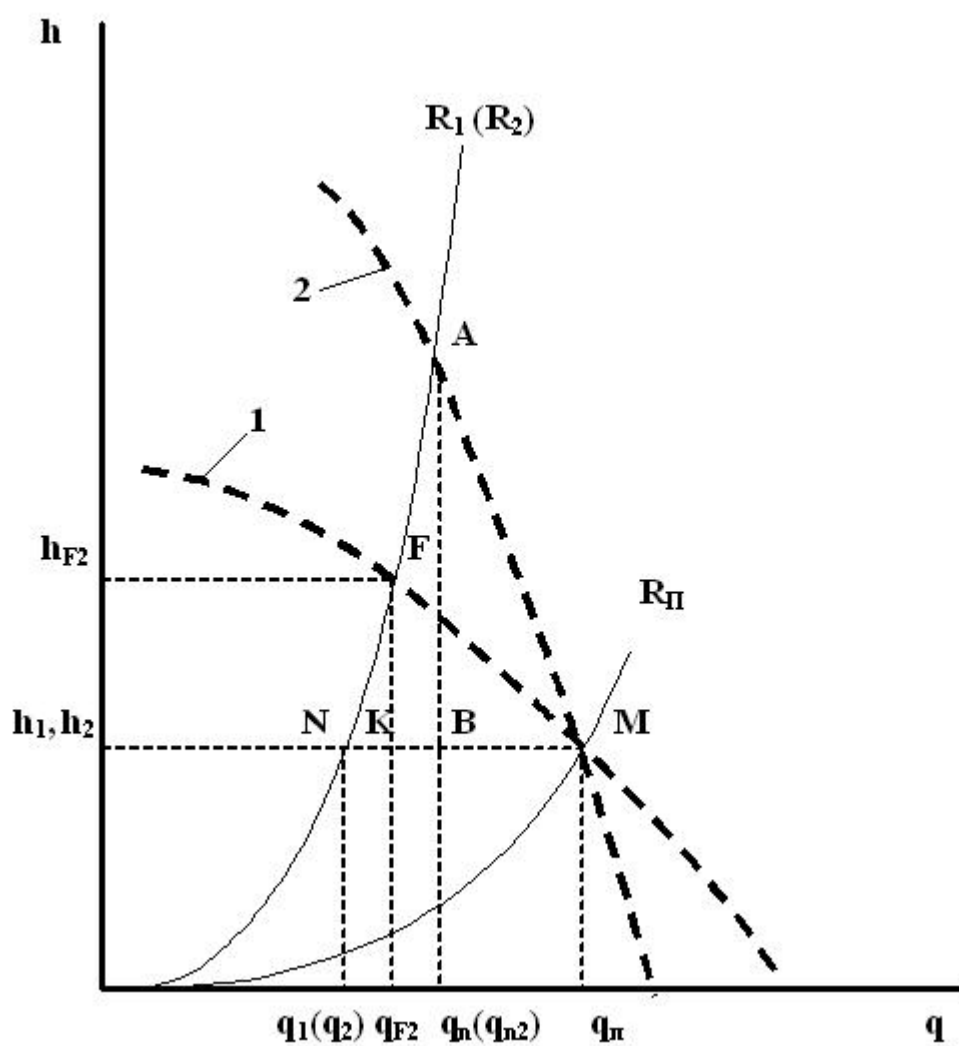


Рис. 2. Визначення режимів вентиляції паралельного з'єднання

Уявимо собі, що опір однієї з гілок паралельного з'єднання підвищився з R_1 до нескінченності (виробка перекрита щільною перемичкою). В цьому випадку опір паралельного з'єднання підвищиться з R_{Π} до R'_{Π} ($R'_{\Pi} = R_2$), а новий режим вентиляції гілки R_2 (і відповідно паралельного з'єднання) будуть визначати координати точки F (h_{F2} , q_{F2}) перетину аеродинамічної характеристики цієї гілки (лінія R_2) з приведеною характеристикою паралельного з'єднання (лінія 1).

Аналіз можливих змін витрат повітря дозволяє стверджувати, що витрата повітря паралельного з'єднання зменшиться ($-$) на Δq_{Π} (різниця $q_{\Pi} - q_{F2}$ дорівнює відрізку КМ), а витрата повітря в гілці R_2 підвищиться ($+$) на Δq_2 (різниця $q'_{F2} - q_2$ дорівнює відрізку НК). Порівняння зміни витрат повітря в паралельному з'єднанні (Δq_{Π}), в гілці-регуляторі ($q_1 = \Delta q_1$) і в гілці – об'єкті регулювання (Δq_2) дозволяє припустити, що найбільша зміна витрати повітря відбулася в гілці-регуляторі (Δq_1) і, одночасно, зміна витрати повітря в об'єкті регулювання (Δq_2) буде менша ніж зміна витрати повітря в паралельному з'єднанні (Δq_{Π})

$$\Delta q_1 > \Delta q_{\Pi} > \Delta q_2. \quad (1)$$

В той же час

$$\Delta q_1 = \Delta q_{\Pi} + \Delta q_2. \quad (2)$$

Цей висновок відповідає властивості вузла вентиляційної мережі [3], але викликає питання: як вплине на характер розподілу повітря підвищення кута нахилу приведеної характеристики паралельного з'єднання?

Виконаємо таку ж саму побудову характеристик в паралельному з'єднанні, але для умов коли приведена характеристика має більший нахил (рис. 2, лінія 2), ніж у попередньому випадку. Парабола аеродинамічного опору гілок (лінії R_1 , R_2) перетинає нову приведену характеристику паралельного з'єднання (лінія 2) в точці А. Тобто, після підвищення опору гілки R_1 до ∞ , режим провітрювання гілки R_2 і паралельного з'єднання співпадає у точці А.

Порівняння змін витрат повітря ($\Delta q'_2 = NB$) в гілці R_2 (при підвищенні опору R_1 до ∞) і в паралельному з'єднанні ($\Delta q_{\Pi} = BM$) дозволяє припустити, що збільшення кута нахилу приведеної характеристики паралельного з'єднання призводить до перерозподілу змін витрат повітря – збільшуються зміни ($\Delta q'_2 > \Delta q_2$) в об'єкті регулювання ($NB > NK$) і, відповідно, зменшуються ($\Delta q'_{\Pi} < \Delta q_{\Pi}$) – в паралельному з'єднанні ($BM < KM$). Співвідношення змін витрат в окремих гілках паралельного з'єднання і загальної витрати цього з'єднання тепер буде мати такий вигляд

$$\Delta q_1 > \Delta q_2 > \Delta q_{\Pi}. \quad (3)$$

Інакше кажучи, після підвищення кута нахилу приведеної характеристики, зміни в об'єкті регулювання (Δq_2) будуть більшими ніж зміни в усьому паралельному (Δq_{Π}) з'єднанні.

Проведений аналіз дозволяє зробити припущення, що негативне регулювання буде більш ефективним в паралельному з'єднанні з більш крутим нахилом приведеної характеристики. Відповідно, в цих умовах зменшиться величина вентиляційного збурення у зовнішній мережі, бо ж зменшиться загальна зміна витоку повітря у паралельному з'єднанні.

Результати графоаналітичного аналізу було перевірено за допомогою сучасної комп'ютерної моделі [4, 5] вентиляційної мережі (рис. 3).

Результати моделювання наведені в таблицях (табл. 1, 2). Під час моделювання аеродинамічний опір гілки-регулятора підвищувався у 10 разів (з 0,05 до 0,5 Па $\text{с}^2/\text{м}^6$).

Таблиця 1. Результати моделювання

Опір гілки-регулятора (R_p) – 0,05 Па $\text{с}^2/\text{м}^6$; витрата повітря (q_p) – 23,3 $\text{м}^3/\text{с}$ Опір гілки-об'єкта (R_o) – 0,05 Па $\text{с}^2/\text{м}^6$; витрата повітря (q_o) – 23,3 $\text{м}^3/\text{с}$			
R_p , Па $\text{с}^2/\text{м}^6$	Витрати повітря (q), $\text{м}^3/\text{с}$	Зміни витрат повітря (Δq), $\text{м}^3/\text{с}$	$\Delta q_o/\Delta q_{\Pi}$
0,5	$q_p=9,5$	$\Delta q_p=13,8$	1,0
	$q_o=30,2$	$\Delta q_o=6,9$	
	$q_{\Pi}=39,7$	$\Delta q_{\Pi}=6,9$	

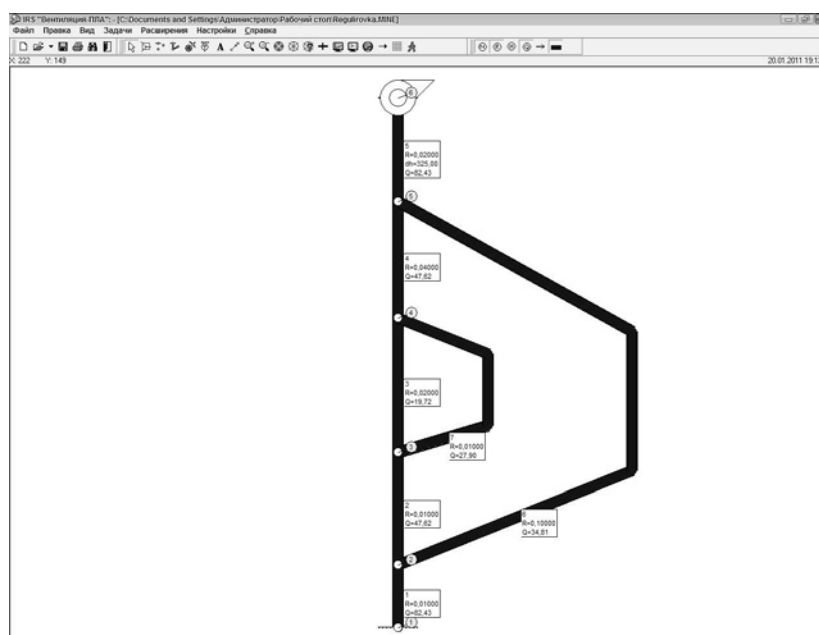


Рис. 3. Схема комп'ютерної моделі паралельного з'єднання

Таблиця 2. Результати моделювання після підвищення кута нахилу приведеної характеристики

Опір гілки-регулятора (R_p) – 0,05 Па с ² /м ⁶ ; витрата повітря (q_p) – 28,6 м ³ /с Опір гілки-об'єкта (R_o) – 0,05 Па с ² /м ⁶ ; витрата повітря (q_o) – 28,6 м ³ /с			
R_p , Па с ² /м ⁶	Витрати повітря (q), м ³ /с	Зміни витрат повітря (Δq), м ³ /с	$\Delta q_o/\Delta q_n$
0,5	$q_p=12,1$	$\Delta q_p=16,5$	1,36
	$q_o=38,1$	$\Delta q_o=9,5$	
	$q_n=50,2$	$\Delta q_n=7,0$	

Порівняння відношень $\Delta q_o/\Delta q_n$ свідчить про те, що після підвищення кута нахилу приведеної характеристики паралельного з'єднання, величина змін в об'єкті регулювання стала більшою ніж в паралельному з'єднанні

$$1,36 > 1.$$

Комп'ютерне моделювання регулювання розподілу повітря в вентиляційній мережі підтверджує висновки отримані за допомогою графоаналітичного методу (1, 2).

Висновки. Ефективність регулювання розподілу повітря в паралельних вентиляційних з'єднаннях підвищується (співвідношення змін витрат повітря в об'єкті регулювання до зміни витрат в усьому паралельному з'єднанні збільшується) в тих випадках, коли збільшується кут нахилу приведеної характеристики вентиляційного з'єднання.

Співвідношення змін витрат повітря в окремих гілках паралельних вентиляційних з'єднань, після зміни опору окремої гілки за межами цих з'єднань, може змінитися на протилежне.

Отримані результати мають наукову і практичну новизну. Результати досліджень публікуються вперше.

Бібліографічний список

1. Болбат И.Е., Лебедев В.И., Трофимов В.А. Аварийные вентиляционные режимы в угольных шахтах. – М.: Недра. – 1992. – 206 С.
2. Аерология шахтных вентиляционных сетей: Монография / В.О. Трофимов, Ю.Ф. Булгаков, О.Л. Кавера, М.В. Харьковский. – Донецьк: Норд-Прес, 2009. – 88 с.

3. 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.
4. 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.
5. Галайко К.О., Трофимов В.О., Фищук О.В. Комп'ютерна програма «IRS Вентиляція шахт – ЕПЛА». Свідчення про реєстрацію авторського права на твір № 31671, Державний департамент інтелектуальної власності, Київ, 2010. – 1 с.

Надійшла до редакції 10.11.2015

В.А. Трофимов

Т. В. Костенко

Черкасский институт пожарной безопасности имени Героев Чернобыля Национального университета гражданской защиты Украины

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ВЕНТИЛЯЦИОННОЙ СЕТИ

В статье исследуются свойства вентиляционной сети и особенности регулирования распределения воздуха в вентиляционной сети. В условиях современных подземных сооружений нужно принимать оперативные решения по регулированию распределения воздуха в нормальных и аварийных условиях. В то же время, в существующей методической литературе и устаревших учебниках по аэрологии отсутствуют основы анализа последствий положительного и отрицательного регулирования распределения воздуха в вентиляционной сети. Для определения закономерностей регулирования распределения воздуха используется графоаналитический метод и компьютерное моделирование вентиляционных сетей. Основу графоаналитического метода составляет определение режимов вентиляции отдельных ветвей с помощью приведенных и аэродинамических характеристик. Компьютерное моделирование подтвердило предположение, что угол наклона приведенной характеристики параллельного соединения влияет на соотношение изменений расхода воздуха в ветвях параллельного соединения.

Ключевые слова: вентиляционная сеть, регулирование, распределение воздуха, компьютерное моделирование, свойства вентиляционной сети.

V.Trofimov

T.Kostenko

Cherkassy Institute of Fire Safety named after Heroes of Chernobyl of National University of Civil Defense of Ukraine

RESEARCH OF PROPERTIES OF THE VENTILATION NETWORK

The article investigates the properties of the ventilation system and features control the distribution of air in the ventilation system. In today's underground facilities need to make quick decisions to regulate the distribution of air in normal and emergency conditions. At the same time, in the existing methodological literature and outdated book about aerology no basis analysis of the effects of positive and negative regulation of distribution of air in the ventilation network. For determining the regularities the distribution of air using graphic-analytical method and computer modeling of ventilation networks. The basis of the graphic-analytical method is the definition of ventilation modes of individual branches, and with reference to the aerodynamic characteristics. Computer modeling has confirmed the assumption that the angle of the above characteristics of parallel connection affects the ratio of changes in the air flow in the branches of a parallel connection.

Keywords: ventilation network, regulation, air distribution, computer simulation, the properties of the ventilation network.