

УДК 622.453.012.2

**В.О. Трофимов**, канд. техн. наук, доцент,  
**О.Л. Кавера**, канд. техн. наук, доцент  
(ДонНТУ)

## РЕГУЛЮВАННЯ РОЗПОДІЛУ ПОВІТРЯ У ВЕНТИЛЯЦІЙНІЙ МЕРЕЖІ

**В.А. Трофимов**, канд. техн. наук, доцент,  
**А.Л. Кавера**, канд. техн. наук, доцент  
(ДонНТУ)

## РЕГУЛИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВОЗДУХА В ВЕНТИЛЯЦИОННОЙ СЕТИ

**V. Trofimov**, Ph.D. (Tech.), Associate Professor,  
**A. Kavera**, Ph.D. (Tech.), Associate Professor  
(DonNTU)

## REGULATION OF AIR DISTRIBUTION IN THE VENTILATION SYSTEM

**Анотація.** В статті досліджуються закономірності розподілу повітря у паралельному вентиляційному з'єднанні. 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. Розглянуто умови формування режимів провітрювання окремих гілок і паралельного з'єднання в цілому. Зроблено аналіз можливих наслідків розподілу повітря після негативного регулювання (підвищення аеродинамічного опору однієї з гілок паралельного з'єднання). Встановлено, що ступінь регулювання розподілу повітря ефективніший в тій вентиляційній мережі, де гілки паралельного з'єднання мають менші абсолютні значення аеродинамічних опорів.

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

### Проблема та її зв'язок з науковими і практичними задачами

Питання розподілу повітря у вентиляційній мережі пов'язані з регулюванням цього розподілу або впливом природних і штучних чинників на режим вентиляції окремих частин шахти. Вирішення цих питань потребує вивчення загальних закономірностей, які діють у вентиляційній мережі і в окремих вентиляційних з'єднаннях. На цей час в підручниках з аерології гірничих підприємств чи в відповідних наукових статтях питання оцінки наслідків регулювання розподілу повітря не розглядаються. Відсутні методичні засади передбачення можливих наслідків від використання вентиляційних регуляторів у вентиляційній мережі. Це призводить до невиправданих матеріальних витрат при виборі місць встановлення вентиляційних регуляторів в нормальних умовах або до похибок при оперативному регулюванні розподілу повітря в аварійних умовах на вугільних шахтах і в метрополітенах.

### Постановка задачі

Мета роботи – встановити вплив величини аеродинамічних опорів гілок паралельного з'єднання на розподіл змін витрат повітря в гілках цього з'єднання.

Для досягнення поставленої мети використаємо графоаналітичний метод. Він полягає у побудові сумісних графічних зображень аеродинамічної і приведеної (приведена характеристика гілки – лінія, на якій розташовані усі можливі режими її провітрювання після зміни аеродинамічного опору) характеристик паралельного з'єднання і його окремих гілок. Таке зображення дає змогу побачити якісні зміни у розподілі витрат повітря між гілками паралельного з'єднання. На підставі аналізу зображень аеродинамічних характеристик формується методика комп'ютерного моделювання дії регулятора в вентиляційній мережі. Моделювання регулювання розподілу повітря відбувається за допомогою фахової комп'ютерної програми.

### Визначення вентиляційних режимів гілок паралельного з'єднання за допомогою аеродинамічних і приведених характеристик

Розглянемо закономірності зміни витрат повітря на прикладі паралельного з'єднання з двох гілок. Для цього використаємо графоаналітичний метод [1].

Припустимо, що обидві гілки паралельного з'єднання мають однаковий опір ( $r_1=r_2$ ), а режим вентиляції кожної з них визначають координати точки А (рис. 1). Режим вентиляції усього паралельного з'єднання визначає точка (В) пересікання аеродинамічної характеристики (лінія  $r_n$ ) з приведеною характеристикою паралельного з'єднання (лінія 1).

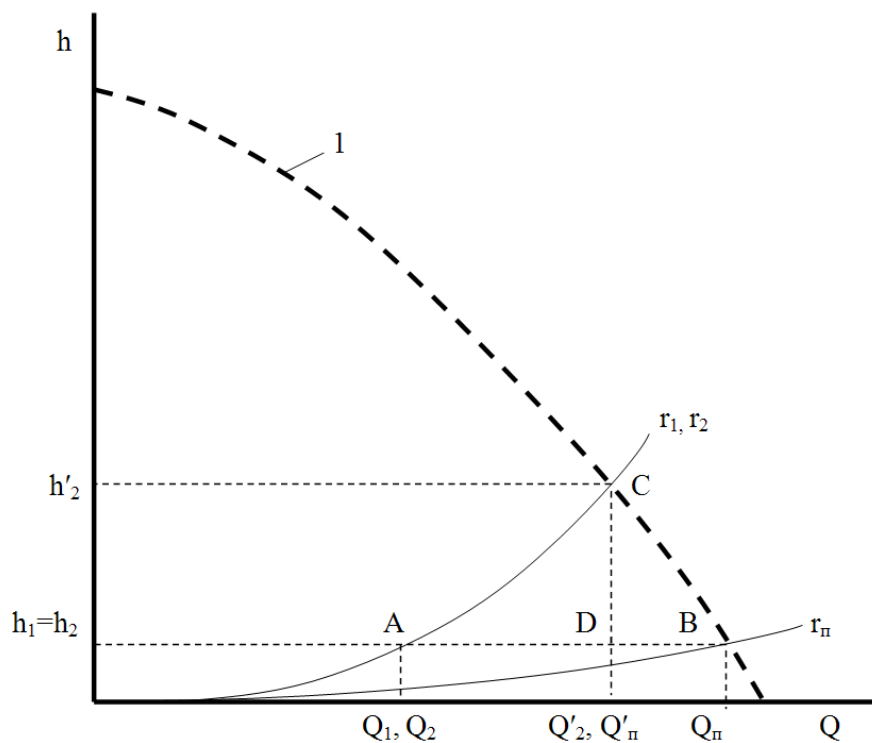


Рисунок 1 – Визначення режимів вентиляції паралельного з'єднання

Уявімо собі, що опір однієї з гілок паралельного з'єднання підвищився з  $r_1$  до нескінченності (виробка перекрита щільною перемичкою – негативне регулювання). В цьому випадку опір паралельного з'єднання підвищиться з  $r_n$  до  $r'_n=r_2$ , а режим вентиляції гілки  $r_2$  (і відповідно паралельного з'єднання) будуть визначати координати точки  $C$  ( $h'_2, Q'_2$ ) перетину аеродинамічної характеристики цієї гілки (лінія  $r_2$ ) з приведеною характеристикою паралельного з'єднання.

Аналіз змін витрат повітря показує, що витрата повітря паралельного з'єднання зменшилася (-) на  $\Delta Q_n$  (різниця  $Q_n-Q'_n$  дорівнює відрізку DB), а витрата повітря в гілці  $R_2$  підвищилася (+) на  $\Delta Q_2$  (різниця  $Q'_2-Q_2$  дорівнює відрізку AD).

Порівняння зміни витрат повітря в паралельному з'єднанні ( $\Delta Q_n$ ), в гілці-регуляторі ( $Q_1=\Delta Q_1$ ) і в гілці-об'єкті регулювання ( $\Delta Q_2$ ) дозволяє стверджувати, що найбільша зміна витрати повітря відбулася в гілці-регуляторі ( $\Delta Q_1$ ) і, одночасно, зміна витрати повітря в об'єкті регулювання ( $\Delta Q_2$ ) буде більша ніж зміна витрати повітря в паралельному з'єднанні ( $\Delta Q_n$ )

$$\Delta Q_1 > \Delta Q_2 > \Delta Q_n. \quad (1)$$

Цей висновок не суперечить властивості вузла вентиляційної мережі [1], але чи повсякчас зберігається ця закономірність? Можливо, при зміні опорів гілок паралельного з'єднання зміниться і характер розподілу повітря в цьому з'єднанні?

Виконаємо таку ж саму побудову характеристик в паралельному з'єднанні, але для умов коли аеродинамічний опір обох гілок ( $R_1=R_2$ ) значно більший (рис. 2), ніж у попередньому випадку. Парабола аеродинамічного опору гілок (лінії  $R_1, R_2$ ) перетинає приведену характеристику паралельного з'єднання (лінія 1) в точці F. Режим провітрювання гілок ( $R_1, R_2$ ) і паралельного з'єднання до регулювання ( $R_{II}$ ) визначають координати точок N і M.

Порівняння змін витрат повітря ( $\Delta Q_2=NK=\Delta Q_p$ ) в гілці  $R_2$  (при підвищенні опору  $R_1$  до  $\infty$ ) і в паралельному з'єднанні ( $\Delta Q_n=KM$ ) дозволяє стверджувати, що в цьому випадку зміни витрати повітря в паралельному з'єднанні ( $\Delta Q_n=Q_n-Q'_2$ ) будуть більші ніж в гілці-об'єкті регулювання ( $\Delta Q_o=Q'_2-Q_2$ )

$$\Delta Q_n > \Delta Q_o. \quad (2)$$

Отриманий результат дозволяє стверджувати, що при менших опорах гілок регулювання витрат повітря в паралельному з'єднанні більш ефективно. Тобто, відношення  $\Delta Q_n/\Delta Q_o$  буде меншим там, де менші абсолютні опори гілки-регулятора і гілки-об'єкта регулювання ( $r_1 < R_1, r_2 < R_2$ ). Інакше кажучи, чим менше аеродинамічні опори гілки-регулятора і гілки-об'єкта регулювання, тим менше зменшення витрати повітря у паралельному з'єднанні і більше збільшення витрати повітря у об'єкті регулювання.

## Моделювання регулювання розподілу повітря за допомогою комп'ютерної моделі вентиляційної мережі

Результати графоаналітичного аналізу було перевірено за допомогою комп'ютерної моделі паралельного з'єднання (рис. 3, ділянка 3-4).

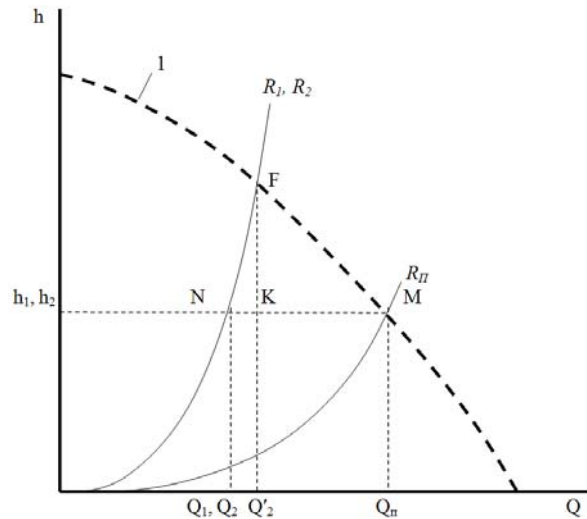


Рисунок 2 – Вплив регулювання на режими вентиляції гілок паралельного з'єднання

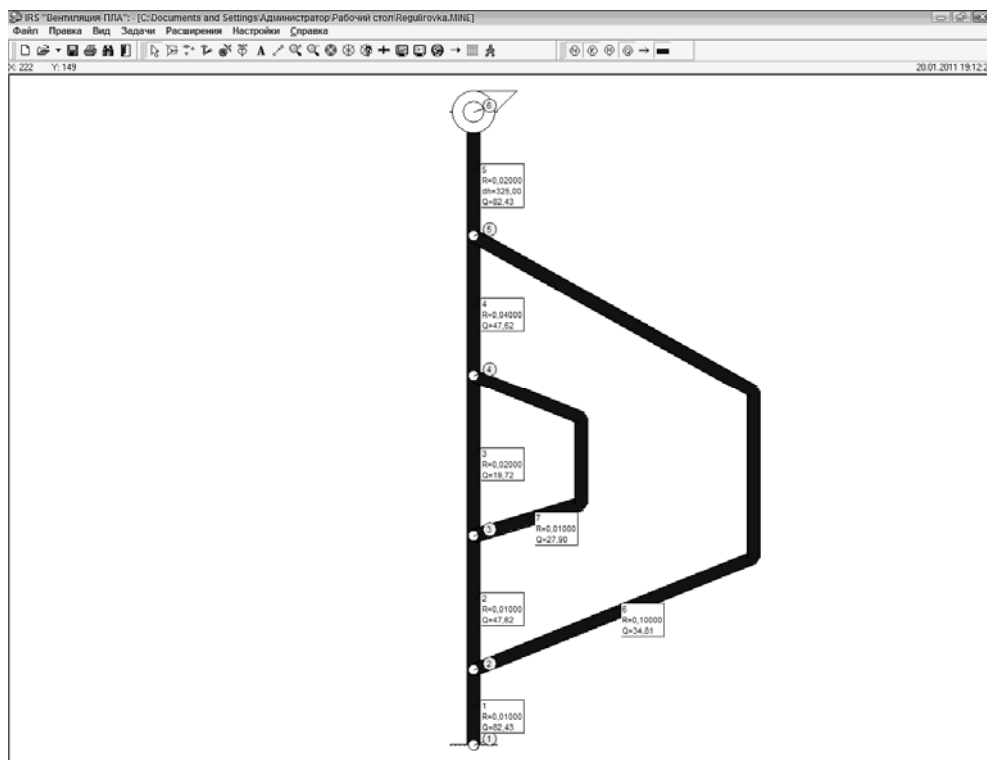


Рисунок 3 – Схема комп'ютерної моделі паралельного з'єднання

Результати моделювання наведено у таблицях 1, 2. В першій таблиці наведено результати моделювання підвищення опору гілки №7 (гілка-регулятор) в 10, 25, 100 разів. Аеродинамічні опори регулятора ( $R_p$ ) і об'єкта регулювання ( $R_o$ ) склали відповідно 0,01 і 0,02 Па  $\text{с}^2/\text{м}^6$ . В табл. 2 наведено результати моде-

лювання після підвищення опору гілки регулятора і об'єкта регулювання в десять разів (ступінь підвищення опору регулятора прийнята така ж, як і у першому випадку – в 10, 25, 100 разів).

Таблиця 1 – Результати моделювання в мережі з малими опорами гілок

Опір гілки-регулятора ( $R_p$ ) – 0,01 Па с <sup>2</sup> /м <sup>6</sup> ; витрата повітря ( $Q_p$ ) – 27,9 м <sup>3</sup> /с Опір гілки-об'єкта ( $R_o$ ) – 0,02 Па с <sup>2</sup> /м <sup>6</sup> ; витрата повітря ( $Q_o$ ) – 19,73 м <sup>3</sup> /с			
$R_p$ , Па с <sup>2</sup> /м <sup>6</sup>	Витрати повітря ( $Q$ ), м <sup>3</sup> /с	Зміни витрат повітря ( $\Delta Q$ ), м <sup>3</sup> /с	$\Delta Q_n/\Delta Q_o$
0,1	$Q_o=31,77$	$\Delta Q_o=12,23$	0,133
	$Q_n=45,98$	$\Delta Q_n=1,64$	
0,25	$Q_o=35,34$	$\Delta Q_o=15,52$	0,146
	$Q_n=45,34$	$\Delta Q_n=2,28$	
1,0	$Q_o=39,07$	$\Delta Q_o=18,35$	0,165
	$Q_o=44,59$	$\Delta Q_o=3,03$	

Таблиця 2 – Результати моделювання в мережі зі збільшеними опорами гілок

Опір гілки-регулятора ( $R_p$ ) – 0,1 Па с <sup>2</sup> /м <sup>6</sup> ; витрата повітря ( $Q_p$ ) – 27,19 м <sup>3</sup> /с Опір гілки-об'єкта ( $R_o$ ) – 0,2 Па с <sup>2</sup> /м <sup>6</sup> ; витрата повітря ( $Q_o$ ) – 19,22 м <sup>3</sup> /с			
$R_p$ , Па с <sup>2</sup> /м <sup>6</sup>	Витрати повітря ( $Q$ ), м <sup>3</sup> /с	Зміни витрат повітря ( $\Delta Q$ ), м <sup>3</sup> /с	$\Delta Q_n/\Delta Q_o$
1,0	$Q_o=23,07$	$\Delta Q_o=6,15$	1,21
	$Q_n=33,39$	$\Delta Q_n=7,47$	
2,5	$Q_o=24,41$	$\Delta Q_o=7,49$	1,27
	$Q_n=31,31$	$\Delta Q_n=9,55$	
10,0	$Q_o=25,62$	$\Delta Q_o=8,7$	1,33
	$Q_n=29,24$	$\Delta Q_n=11,62$	

### Результати роботи

Аналіз результатів моделювання підтверджує теоретичний аналіз: регулювання розподілу повітря ефективніше в тій вентиляційній мережі, де гілки паралельного з'єднання мають менші абсолютні значення аеродинамічних опорів. Окрім того, вентиляційне збурення, яке виникає у якомусь вентиляційному контурі швидше згасає в мережі з меншими значеннями аеродинамічних опорів гілок паралельних з'єднань. Це видно з порівняння величин  $\Delta Q_n$  в першій і другій таблицях. Так, при підвищенні опору регулятора в мережі з невеликими опорами величина  $\Delta Q_n$  змінювалася від 1,64 до 3,03 м<sup>3</sup>/с, а в мережі з підвищеним опором гілок – від 7,47 до 11,62 м<sup>3</sup>/с.

### Висновки

Встановлено нові властивості вентиляційної мережі:

- ступінь регулювання розподілу повітря ефективніший в тій вентиляційній мережі, де гілки паралельного з'єднання мають менші абсолютні значення аеродинамічних опорів;
- вентиляційне збурення, яке виникає у якомусь вентиляційному контурі швидше згасає в мережі з меншими значеннями аеродинамічних опорів гілок.

---

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Аерологія шахтних вентиляційних мереж / В.О. Трофимов, Ю.Ф. Булгаков, О.Л. Кавера [та ін.] – Донецьк: Норд-Прес, 2009. – 87 с.

REFERENCES

1. Trofymov V.O., Bulgakov Yu.F. and Kavera O.L. (2009), *Aerolohiia shakhtnykh ventyliatsiinykh merezh* [Aerology of mine ventilation system], Nord-Pres, Donetsk, Ukraine.

---

Об авторах

**Трофимов Віталій Олександрович**, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри «Охорона праці та аерологія», Донецький національний технічний університет (ДонНТУ), Донецьк, Україна, vialet@yandex.ua

**Кавера Олексій Леонідович**, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри «Охорона праці та аерологія», Донецький національний технічний університет (ДонНТУ), Донецьк, Україна, kavera@ukr.net

About the authors

**Trofymov Vitalii Oleksandrovych**, Candidate of Technical Sciences (Ph.D), Associate Professor, Associate Professor of Department «Labour protection and Aerology», Donetsk National Technical University (DonNTU), Donetsk, Ukraine, vialet@yandex.ua

**Kaviera Oleksii Leonidovych**, Candidate of Technical Sciences (Ph.D), Associate Professor, Associate Professor of Department «Labour protection and Aerology», Donetsk National Technical University (DonNTU), Donetsk, Ukraine, kavera@ukr.net

---

**Аннотация.** В статье исследуются закономерности распределения воздуха в параллельном вентиляционном соединении. 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. Рассмотрены условия формирования режимов проветривания отдельных ветвей и параллельного соединения в целом. Сделан анализ возможных последствий распределения воздуха после негативного регулирования (повышение аэродинамического сопротивления одной из ветвей параллельного соединения). Установлено, что степень регулирования распределения воздуха эффективнее в той вентиляционной сети, где ветви параллельного соединения имеют меньшие абсолютные значения аэродинамических сопротивлений.

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

**Abstract.** The article analyzes the laws regulating air distribution at parallel ventilation connection. To determine the laws regulating the air distribution, graphic-analytical method and computer simulation of ventilation systems are used. The graphic-analytical method is based on the defining of ventilation modes in individual branches with the help of reduced and aerodynamic characteristics. Conditions for forming ventilation modes for separate branches and parallel connections in general are considered. Possible consequences after negative regulation of the air distribution (increase of aerodynamic resistance in one of the branches of the parallel connection) are analyzed. It was found that regulation of air distribution was more effective in that ventilation system where branches of parallel connection had smaller absolute values of aerodynamic resistances.

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

*Статья поступила в редакцию 20.09.2013*

*Рекомендовано к публикации д-ром техн. наук Т.В. Бунько*

УДК 622.451.012.2: 004.04

**Т.В. Бунько**, д-р техн. наук, ст. наук. співр.,  
**І.Є. Кокоулін**, канд. техн. наук, ст. наук. співр.,  
**М.М. Дуднік**, магістр  
**В.М. Веретенник**, магістр  
(ІГТМ НАН України)

**РОЗРОБКА МЕТОДІВ І ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗОВАНОГО  
ЗБИРАННЯ І ОБРОБКИ ДАНИХ ПРО СТАН ШАХТНИХ  
ВЕНТИЛЯЦІЙНИХ МЕРЕЖ**

**Т.В. Бунько**, д-р техн. наук, ст. научн. сотр.,  
**И.Е. Кокоулин**, канд. техн. наук, ст. научн. сотр.,  
**М.Н. Дудник**, магистр  
**В.Н. Веретенник**, магистр  
(ИГТМ НАН Украины)

**РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ И ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ  
АВТОМАТИЗИРОВАННОГО СБОРА И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ  
О СОСТОЯНИИ ШАХТНЫХ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ СИСТЕМ**

**T.V. Bunko**, D.Sc.(Tech.), Senior Researcher,  
**I. Ye. Kokoulin**, Ph.D. (Tech.), Senior Researcher,  
**M.N. Dudnik**, Master of Science,  
**V.N. Veretennik**, Master of Science  
(IGTM NAS of Ukraine)

**METHODS AND HARDWARE FOR AUTOMATED  
COLLECTION AND PROCESSING OF DATA ON THE STATE OF MINE  
VENTILATION SYSTEMS**

**Анотація.** В статті констатовано, що основною характеристикою виробок шахтної вентиляційної мережі, знання якої дозволяє сформуванати хай неточну, але з достатнім ступенем точності відповідну реальній мережі математичну модель, є кількість повітря в них. Надалі математична модель підлягає актуалізації з метою підвищення ефективності рішень по вдосконаленню провітрювання шахти, які вироблюються. Проте вживані для цих цілей методи (коротка характеристика двох з них, розроблених в ІГТМ НАН України, приведена в статті) вимагають високої оперативності і точності актуалізації інформації для проведення вентиляційних розрахунків, що, в свою чергу, обумовлює необхідність використання вимірювальних приладів сучасного технічного рівня. Один з них, переносний анемометр АПР-2, розроблений в ІГТМ НАН України, описаний у статті.

**Ключові слова:** аеродинамічні параметри, витрата повітря, виміри, аеродинамічний перетворювач, структурна і параметрична ідентифікація.