

УДК 622.451

# Определение эквивалентных характеристик окружающих подсеть выемочных участков в шахтной вентиляционной сети методом компьютерного моделирования

Колярчик М., Олексы М., Пах Г.

*Силезский политехнический институт, Гливице, Польша*

## Аннотация

В статье представлены результаты шахтных исследований эквивалентных характеристик подсетей выемочных участков с учетом приведенных характеристик вентиляторов. Полная характеристика шахтной вентиляционной сети получена на основании ее компьютерного моделирования. Применение этого метода позволяет определять и уточнять параметры вентиляционных сетей действующих шахт. Приведены 17 новых примеров их протекания и результаты аппроксимации прямой линией и параболой. Обращается внимание на значение наклона характеристики окружения участковой подсети.

## 1. Введение

Рост аварий на угольных шахтах с увеличением глубины и интенсификации отработки весьма газоносных угольных пластов в условиях больших температур боковых пород, заставляет создавать более эффективные системы вентиляции шахт, обеспечивающие необходимый расход воздуха и адаптацию их режимов изменению горнотехнологической ситуации. В связи с этим методы компьютерного моделирования шахтных вентиляционных сетей позволяют анализировать различные нормальные и аварийные режимы проветривания. Необходимо проведение дальнейших исследований шахтных вентиляционных сетей и их подсистем для определения и уточнения их параметров при изменении горно-геологических условий залегания угольных пластов и технологических условий их отработки.

Накопленный опыт аналитических исследований и практического применения их результатов в шахтных условиях показывает [1–9], что для анализа параметров вентиляционной сети шахты могут быть использованы эквивалентные характеристики отдельных ее частей. Такой подход позволяет установить статистические зависимости между рассматриваемыми параметрами вентиляционных сетей и с их помощью разработать методы прогноза возможных опасных ситуаций и способы их предотвращения.

Каждый элемент или ветвь шахтной вентиляционной сети с фиксированным начальным  $w_p$  и конечным  $w_k$  узлами имеет свою индивидуальную характеристику, представляемую обычно в виде зависимости:

– для пассивных элементов, на которых выступает распределение энергии:

$$W = f(V), W = R \cdot V^2 \quad (1)$$

– для активных элементов, например вентиляторов:

$$H = F(V) \quad (2)$$

где  $V$  – расход воздуха в ветви или производительность вентилятора,

$W, H$  – соответственно падение или прирост давления воздуха, депрессия вентилятора,

$R$  – аэродинамическое сопротивление выработки или ветви.

Характеристики ветвей используются в уравнениях равновесия вентиляционной сети при определении ее параметров. На рис. 1 представлена схема разделения общей вентиляционной сети на две части – подсеть Р и оставшуюся часть сети О или «окружение» сети.

Шахтная вентиляционная сеть является приемником воздуха, а вентилятор главного проветривания – побудителем его движения в сети (рис. 1). Перераспределение объемов и энергии воздуха между отдельными частями вентиляционной сети происходит в узлах сопряжения этих частей [1, 2, 5, 6, 7]. При определении параметров индивидуальной характеристики отдельной ветви общешахтной вентиляционной сети она рассматривается как

отдельный фрагмент сети, имеющий два общих узла с оставшейся ее частью. Один из этих узлов считается выходным из первой части и входным во вторую часть, второй узел является выходным из второй части и входным в первую часть (рис. 1).

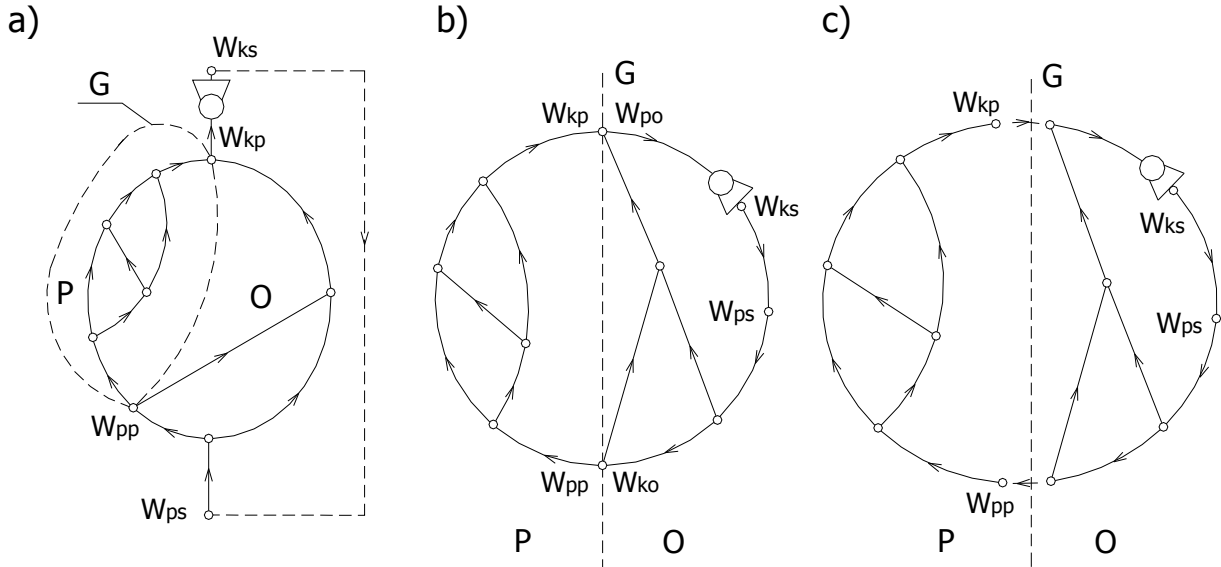


Рис 1. Выделение подсети P и оставшейся части шахтной вентиляционной сети O:  
 G - граница выделения; P – подсеть; O – «окружение» подсети  
 $w_{ps}, w_{ks}$  начальный и конечный узлы сети,  
 $w_{pp}, w_{kp}$  начальный и конечный узлы подсети,  
 $w_{po}, w_{ko}$  начальный и конечный узлы оставшейся части вентиляционной сети

Существование одного входного и выходного узлов каждой части вентиляционной сети позволяет определить эквивалентную характеристику  $W_z = f(V_z)$  или  $H_z = F(V_z)$  для каждой из этих частей (рис. 1, 2). Для части сети, являющейся приёмником воздуха, эта характеристика определяется как для пассивного элемента сети и зависимость между изменением депрессии  $W_z$  и расходом воздуха в этой части сети  $V_z$  (рис. 2) имеет вид:

$$W_z = f(V_z) \quad (3)$$

Для части сети с вентилятором главного проветривания, обеспечивающим движение воздуха в сети зависимость между давлением воздуха  $H_z$  расходом воздуха  $V_z$  (рис. 2): запишется в виде:

$$H_z = F(V_z) \quad (4)$$

Эта характеристика представляет собой приведенную характеристику вентилятора по отношению к подсети [1, 2]. Точка совместной работы обеих частей системы совпадает с точкой работы системы главный вентилятор – сеть и определяется пересечением характеристик  $W_z = f(V_z)$  и  $H_z = F(V_z)$  (рис. 1, 2), так как эквивалентные расходы воздуха в этих выражениях  $V_z$  равны. Это вытекает из I-го закона Кирхгофа для узлов соприкосновения элементов вентиляционной сети, т. к. в точке совместной работы такой системы эквивалентное падение давления  $W_z$  равняется эквивалентному приросту давления  $H_z$ :

$$W_z = H_z \quad (5)$$

Эквивалентные характеристики  $W_z = f(V_z)$ ,  $H_z = F(V_z)$  части сети, а также их свойства определяются структурой этих частей и характеристиками элементов, образующих эти отдельные части. Использование эквивалентных характеристик выделенных частей сети нашло применения в решении ряда практических задач [3, 4, 5].

В работах [6, 8] представлены результаты шахтных исследований свойств эквивалентных характеристик  $H_z(V_z)$  «окружений» подсети выемочных участков. Установлено, что эти характеристики с достаточной точностью можно аппроксимировать статистической зависимостью вида  $H = a + b \cdot V_z$ . Коэффициент  $b$ , определяющий наклон характеристики по отношению к осям системы координат  $V, H$  (рис. 2), принимал значения в широком диапазоне от  $-2,98$  до  $-108,8$  Па·с/м<sup>3</sup>.

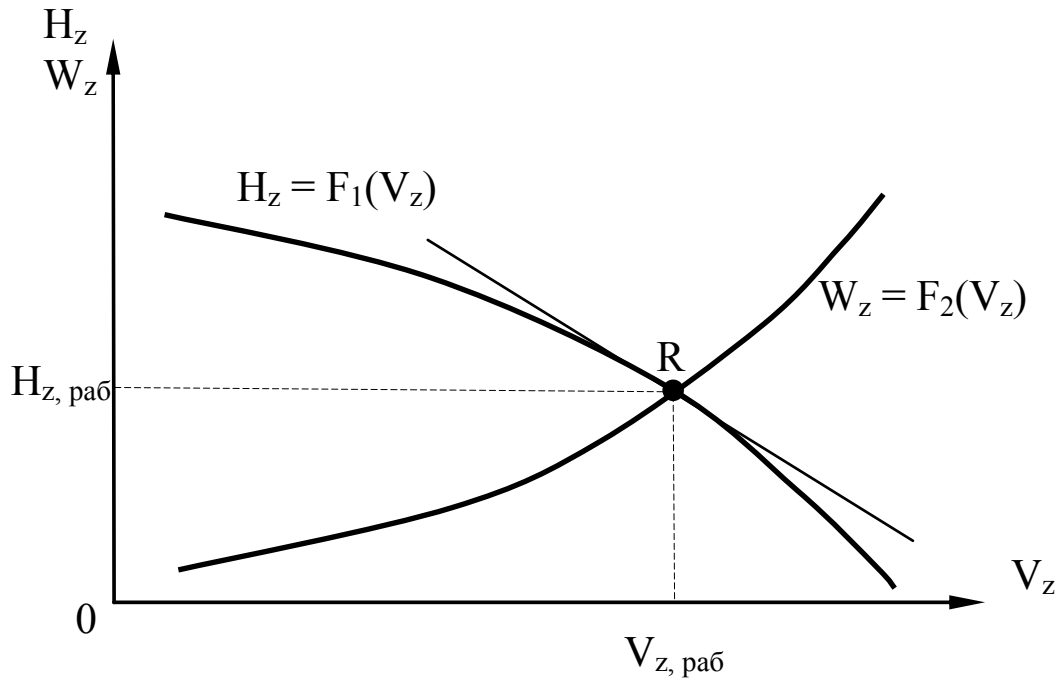


Рис. 2. Эквивалентные характеристики «окружения» сети  $O - H_z = F_1(V_z)$  и подсети  $P - W_z = F_2(V_z)$

В работе [8] обращается внимание на возможность изменения расхода воздуха в сети за счет управления наклоном эквивалентной характеристики «окружения» подсети. При пологих характеристиках «окружения» подсети  $H_z(V_z)$  при аварийной вентиляционных режимах возможно увеличение количества воздуха в участковой сети за счет снижения давления в перемычках с вентиляционным окном. При крутых характеристиках «окружения» подсети такой способ регулирования расхода воздуха не эффективен и не применяется, так как он не дает увеличения количества воздуха на участке.

Представленные в работах [6, 8] результаты шахтных исследований были получены для не широкого диапазона расхода воздуха  $V_z$  и эквивалентной депрессии  $H_z$  «окружения» сети, что было вызвано рядом организационных и технических трудностей в ходе проводимых на шахтах инструментальных наблюдений.

Применение методов компьютерного моделирования шахтных вентиляционных сетей и их подсистем позволяет производить анализ их эквивалентных характеристик в широком диапазоне изменения параметров с учетом полученных в натуральных условиях статистических зависимостей между рассматриваемыми характеристиками сети.

## 2. Определение характеристики «окружения» сети на основе компьютерного моделирования

Определение эквивалентной характеристики «окружения» участковой подсети  $H_z = F(V_z)$  в ходе шахтных исследований заключалось в изменении эквивалентного ее сопротивления. Методика проведения исследований аналогична депрессионной съёмке характеристики главного вентилятора. Изменение сопротивления подсети осуществлялось за счет открытия-закрытия перемычек или изменения параметров работы вспомогательного вентилятора, что способствовало изменению расхода воздуха  $V_z$  и падению давления  $W_z$  в подсети. Эти величины определялись в ходе шахтных инструментальных наблюдений, для чего на каждом выемочном участке были организованы по десять измерительных станций [5, 6]. Полученный массив экспериментальных данных для вентиляционной системы «локальная подсеть – оставшаяся сеть» позволил построить эквивалентную характеристику «окружения» подсети  $H_z = F_{\text{max}}(V_z)$ .

Параметры эквивалентной характеристики «окружения» подсети  $H_z = F(V_z)$  можно определить в результате компьютерного моделирования режимов шахтной вентиляционной сети.

В процессе моделирования при изменении сопротивления вентиляционной сети определялся расход воздуха  $V_z$  и разность потенциалов давления воздуха  $\Delta\Phi$  между конечными узлами подсети и «окружения» сети с учетом принятого условия:

$$\Delta\Phi = W_z = H_z \quad (6)$$

В результате реализации разработанного алгоритма для десяти рабочих состояний системы «подсеть – окружение сети» была получена эквивалентная характеристика «окружения» подсети  $H_z = F_{комп}(V_z)$ .

Исследования режимов распределения воздуха в шахтной сети и свойств характеристик «окружения» подсети с помощью компьютерного моделирования было проведено для условий четырёх шахт. Предварительный анализ вентиляционных сетей этих шахт позволил отобрать подсети, имеющие два общих узла с остальной сетью или «окружением». Моделирование было проведено для следующих примеров:

- на шахте «D» 4 примера (da, db, dc, dd),
- на шахте «S2» 3 примера (s2a, s2b, s2c),
- на шахте «Sz» 4 примеров (sza, szb, szc, szd, sze),
- на шахте «K» 5 примеров (k42a, k42b, k42c, k42d, k42e).

В статье представлены 16 характеристик  $H_z(V_z)$  «окружений» подсетей выемочных участков. Для определения каждой характеристики проведено от 15 до 23 вычислений режимов вентиляционных сетей на выбранной шахте.

### 3. Анализ результатов исследований характеристик «окружения» подсети

Проведенное компьютерное моделирование позволило определить искомые характеристики  $H_z(V_z)$  «окружений» подсети. Для установления вида зависимости был использован метод наименьших квадратов. При аппроксимации полученных результатов приняты уравнения прямой линии и параболы. Характеристики  $H_z(V_z)$  приведены на рис. 3.

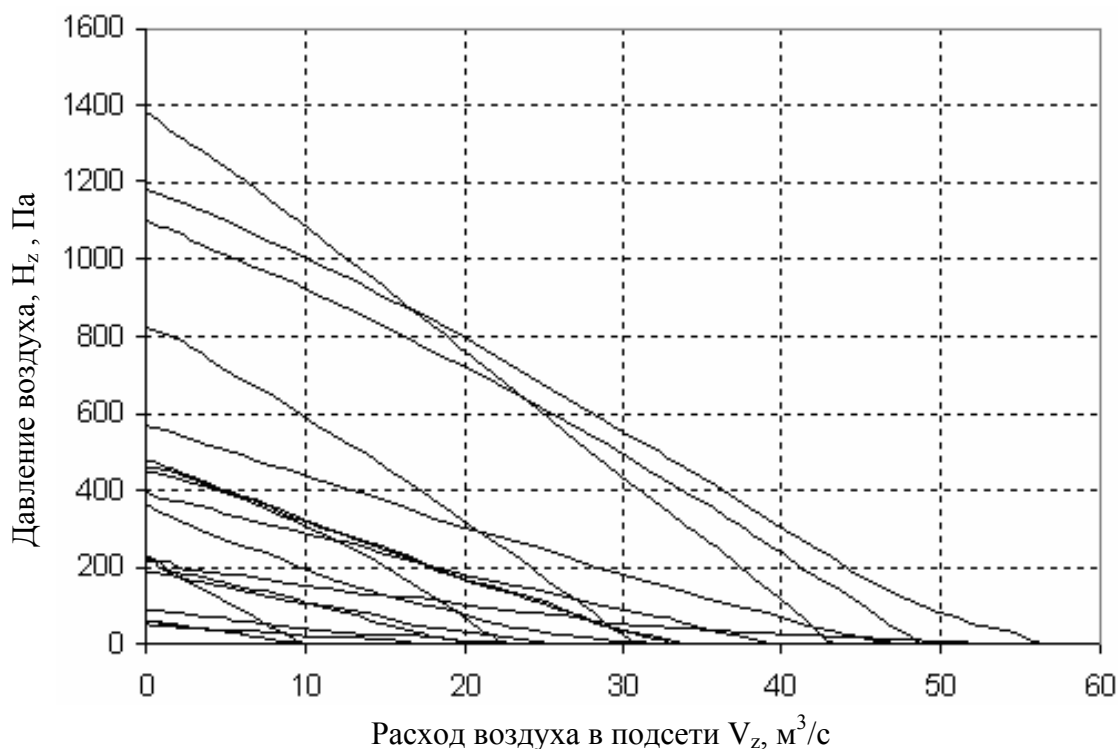


Рис. 3. Эквивалентные характеристики  $H_z = F(V_z)$  «окружения» подсети выемочных участков:  
 $V_z$  – расход воздуха в подсети,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $H_z$  – прирост давления воздуха в подсети, Па

Результаты аппроксимации всех вычислений представлены в таблице 1.

Табл. 1. Результаты аппроксимации вычислений характеристик «окружения» подсети

Номер примера	Аппроксимация прямой линией	Коэффициент корреляции R <sup>2</sup>	Аппроксимация параболой	Коэффициент корреляции R <sup>2</sup>
Da	$H_z = -11,459V + 334,39$	0,9704	$H_z = -0,2588V^2 - 19,559V + 360,79$	0,9999
Db	$H_z = -7,4231V + 185,52$	0,9939	$H_z = -0,0952V^2 - 9,8941V + 192,04$	0,9997
Dc	$H_z = -32,236V + 1399$	0,9998	$H_z = -0,0413V^2 - 30,348V + 1388,6$	0,9999
Dd	$H_z = -3,6068V + 83,329$	0,9919	$H_z = -0,0587V^2 - 5,0118V + 86,648$	0,9997
S2a	$H_z = -22,561V + 1127$	0,9963	$H_z = -0,1263V^2 - 16,435V + 1098,7$	1
S2b	$H_z = -21,859V + 1202,4$	0,9976	$H_z = -0,0009V^2 - 21,809V + 1202,1$	0,9976
S2c	$H_z = -14,524V + 473,8$	0,9987	$H_z = -0,712V^2 - 16,892V + 481,32$	1
sza	$H_z = -2,6619V + 50,31$	0,9942	$H_z = 0,034V^2 - 3,3306V + 52,027$	0,9992
szb	$H_z = -22,934V + 225,17$	0,9994	$H_z = 0,2269V^2 - 25,318V + 228,2$	0,9999
szc	$H_z = -12,176V + 559,92$	0,9983	$H_z = 0,1051V^2 - 16,392V + 550,95$	0,9486
szd	$H_z = -20,745V + 478,46$	0,9884	$H_z = -0,4398V^2 - 10,281V + 451,35$	0,9988
K42a	$H_z = -14,292V + 465,01$	0,9983	$H_z = -0,0358V^2 - 15,404V + 469,14$	0,9988
K42b	$H_z = -4,5022V + 204,51$	0,9516	$H_z = -0,0568V^2 - 7,1262V + 218,05$	0,9983
K42c	$H_z = -10,01V + 387,49$	0,9992	$H_z = -0,1382V^2 - 22,649V + 828,35$	0,9998
K42d	$H_z = -10,435V + 210,26$	0,9985	$H_z = -0,003V^2 - 10,497V + 210,41$	0,9985
K42e	$H_z = -26,872V + 844,68$	0,9984	$H_z = -0,1382V^2 - 22,649V + 828,35$	0,9998

Таблица 2 Сравнительная характеристика частоты распределения коэффициента *b* для прямолинейной зависимости

№ п/п	Предел изменения коэффициента $-b$ , Па·с/м <sup>3</sup>	Результаты исследований на основании:					
		Работы [6]		Работы [8]		Компьютерных вычислений	
		Количество наблюдений, n <sub>р</sub>	Частота наличия по измер. %	Количество наблюдений по вычисл. n <sub>р</sub>	Частота наличия по вычисл. %	Количество всех набл. n <sub>к</sub>	Частота наличия %
	1	2	3	4	5	6	7
1	0 ÷ 10	4	16,0	5	29,4	9	21,4
2	10 ÷ 20	9	36,0	6	35,3	15	35,7
3	20 ÷ 30	7	28,0	5	29,4	12	28,6
4	30 ÷ 40	2	8,0	1	5,9	3	7,1
5	40 ÷ 50	0	0	0	0,0	0	0,0
6	50 ÷ 60	1	4,0	0	0,0	1	2,4
7	60 ÷ 70	0	0	0	0,0	0	0,0
8	70 ÷ 80	0	0	0	0,0	0	0,0
9	80 ÷ 90	1	4,0	0	0,0	1	2,4
10	90 ÷ 100	0	0	0	0,0	0	0,0
12	100 ÷ 120	0	4,0	0	0,0	1	2,4
всего		25	100	17	100	42	100

Полученные результаты компьютерного моделирования (табл. 1) показывают, что аппроксимация зависимости между давлением и расходом воздуха в шахтных вентиляционных сетях в виде прямой линии и параболы дает высокий показатель тесноты связи между рассматриваемыми параметрами (коэффициент корреляции  $R^2$ ), который колеблется соответственно в пределах 0,951–0,9998 и 0,9486–1,0.

Проведенные исследования эквивалентных характеристик  $H_z(V_z)$  «окружений» подсети выемочных участков на выбранных шахтах позволяют уточнять параметры технологических решений по совершенствованию проветривания очистных и подготовительных забоев глубоких шахт с использованием результатов натуральных исследований и осуществлять оперативное управление вентиляционными режимами выемочных участков в экстремальных ситуациях.

В таблице 2 представлена сравнительная характеристика частоты распределения коэффициента  $b$  для прямолинейной зависимости, который показывает наклон характеристики вентиляционной сети к осям координат.

#### 4. Выводы

Представленные в работе [8] результаты анализа эквивалентных характеристик «окружения» участков подсетей получены на основании 25 натуральных экспериментов, проведенных на ряде шахт Силезского каменноугольного бассейна. В ходе измерений, из-за ряда сложностей организационного и технического характера можно было определить лишь фрагменты каждой характеристики подсети в некотором пределе расхода воздуха и эквивалентной депрессии оставшейся части сети, что предопределялось ограниченностью возможностей регулирования расхода воздуха в шахтной сети и высокой трудоемкостью измерений.

Компьютерное моделирование, являясь универсальным инструментом для определения параметров многовариантных систем, позволяет эффективно и с меньшими затратами времени и средств определить эквивалентные характеристики вентиляционных сетей выемочных участков, что весьма важно при оперативном управлении вентиляционными режимами выемочных участков в экстремальных ситуациях. Были разработаны компьютерные модели вентиляционных сетей выемочных участков четырех угольных шахт и в результате их реализации получены 16 характеристик зависимости изменения давления воздуха от расхода воздуха в этих сетях и их отдельных фрагментах.

Проведенные исследования и сравнение их с результатами шахтных наблюдений позволяют сделать следующие выводы:

1. Характеристики «окружений» подсети выемочных участков (в 1-й четверти системы координат  $V, H$ ) являются монотонно убывающими (рис. 3).
2. Аппроксимация зависимости давления воздуха от его расхода в вентиляционной сети и ее фрагментах параболой дает максимальный коэффициент корреляции во всем диапазоне изменения параметров по сравнению с прямолинейной зависимостью (табл. 1). В районе рабочей точки  $R$  системы «подсеть  $P$  – «окружения» сети  $O$ » (рис 3) зависимость  $H = F(V)$  с достаточной точностью может быть описана уравнением прямой линии.
3. Результаты шахтных исследований и компьютерного моделирования вентиляционных режимов выемочных участков глубоких шахт показывают, что для каждой сети и ее локальных частей характеристики  $H = F(V)$  должны устанавливаться индивидуально.
4. При аппроксимации зависимости  $H = F(V)$  прямой линией коэффициент направления  $b$ , определяющий наклон характеристики к осям координат в точке  $R$  работы системы «подсеть – «окружение» остальной сети», чаще всего (около 36 % наблюдаемых случаев) принимает значения в диапазоне от 10 до 20 Па·м/м<sup>3</sup>.

### Библиографический список

1. Болбат И. Е., Лебедев В. И. Способы получения приведенной характеристики вентилятора. В сб. «Горноспасательное дело». Вып. 5. Донецк, 1972/5.
2. Болбат И. Е., Лебедев В. И. Аналитическое определение основных параметров приведенной характеристики вентилятора. В сб. «Разработка месторождений полезных ископаемых» 39. Киев, «Техника», 1975.
3. Budryk W. Wspólna praca kilku wentylatorów w normalnych systemach wentylacyjnych. Przegląd Górniczo-Hutniczy, 1935/3. (Wybór Pism, PWN, Warszawa – Kraków 1976).
4. Bystroń H.: Graficzne rozwiązywanie systemów przewietrzania. Przegląd Górniczy, 1958/5-6.
5. Frycz A., Kolarczyk M.: Zastosowanie charakterystyki otoczenia podsieci wentylacyjnej do analizy przewietrzania oddziału. Bezpieczeństwo Pracy w Górnictwie. s. 1–3. 1979/1 (42)
6. Kolarczyk M. Własności i zastosowania charakterystyki podsieci i otoczenia w kopalnianej sieci wentylacyjnej. ITEZ, Gliwice 1980, s. 244, (niepublikowane)
7. Kolarczyk M.: Definiowanie i wyznaczanie charakterystyk części kopalnianych sieci wentylacyjnych. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s. Górnictwo, z. 188, Gliwice 1990, s. 171–183
8. Kolarczyk M.: Rezerwa wydatku powietrza w oddziale wydobywczym wynikająca z nachylenia charakterystyki otoczenia podsieci oddziałowej. W materiałach XX seminarium „Metan i inne zagrożenia współwystępujące – Teoria i Praktyka”. XXIX Dni Techniki ROP’ 2003. Rybnik X 2003. Wyd. IGGiETP Pol. Śl. Gliwice 2003, s. 65–76
9. Колярчик М.: Эквивалентная характеристика части вентиляционной сети шахты при работе вспомогательного вентилятора. Сборник научных трудов ч. I. Способы и средства создания безопасных условий труда в угольных шахтах. Макеевка – Донбас 2004. с. 49–61

© Колярчик М., Олексы М., Пах Г., 2008.