

К.В. Кузьминов, Я.Я. Лебедев, Е.А. Яворская

## ИССЛЕДОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ В ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТКАХ МАРГАНЦЕВЫХ ШАХТ

Наведено результати досліджень вентиляційних параметрів в гірничих виробках марганцевих шахт.

Приведены результаты исследований вентиляционных параметров в горных выработках марганцевых шахт.

The results of researches of vent parameters in the mountain making of manganese mines are resulted.

На марганцевых шахтах очистная выемка ведется столбовой системой разработки, параметры которой установлены исходя из условий проветривания, горного давления, производительности добычных машин и средств доставки руды из забоя [1].

Наличие параллельных выработок с входящими и исходящими струями воздуха обуславливает большие утечки через вентиляционные сооружения на сбойках. По результатам замеров потери воздуха только в параллельных выработках шахт МГОКа составляют в среднем 25% от дебита шахты.

Вследствие таких утечек к вентиляторам местного проветривания поступает недостаточное количество воздуха, из-за чего, в конечном счете, нарушается нормальный режим проветривания забоев.

Для обеспечения забоев необходимым количеством воздуха, кроме эффективных средств снижения утечек, очень важно правильно определить потери воздуха и депрессию в параллельных выработках действующих и проектируемых шахт.

Утечки воздуха  $Q_{ум}$ , число вентиляционных сбоек  $n_{сб}$  и расход воздуха в конце параллельных выработок  $Q_k$  действующих шахт определяются на основании шахтных замеров. По результатам замеров строятся графики изменения расхода воздуха по длине выработок и подбираются эмпирические формулы.

Основные вентиляционные параметры в параллельных выработках проектируемых шахт устанавливаются следующим образом.

Оптимальное аэродинамическое сопротивление вентиляционного сооружения  $R_{oi}$  на  $i$ -й сбойке, удаленной на расстояние  $l_i$  от конца параллельных выработок, определяется по формуле [2]

$$R_o = 91,68 \cdot T^{2/3} \frac{h_{ум.i}}{S^2},$$

где  $h_{ум.i}$  – депрессия на  $i$ -й сбойке, удаленной на расстояние  $l_i$  от конца параллельных выработок.

Следовательно, депрессия на 1-й сбойке (рис. 1)

$$h_{ум.1} = h_1' + h_k + h_1;$$

на 2-й сбойке равна

$$h_{ум.2} = h_{ум.1} + h_2 + h_2';$$

на 3-й сбойке равна

$$h_{ум.3} = h_{ум.2} + h_3 + h_3' \text{ и т.д.}$$

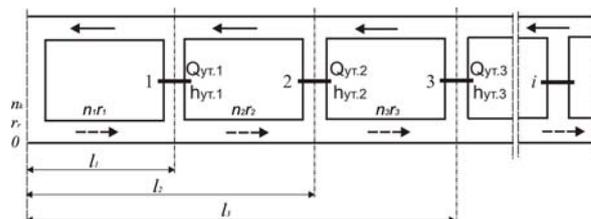


Рис. 1. К расчету вентиляционных параметров в параллельных выработках

Тогда нормальные утечки воздуха будут равны: через первую сбойку

$$Q_{ум.1} = \sqrt{\frac{h_{ум.1}}{R_{сб.1}}}, \text{ м}^3/\text{с};$$

через вторую сбойку

$$Q_{ум.2} = \sqrt{\frac{h_{ум.2}}{R_{сб.2}}}, \text{ м}^3/\text{с};$$

через третью сбойку

$$Q_{ум.3} = \sqrt{\frac{h_{ум.3}}{R_{сб.3}}}, \text{ м}^3/\text{с}.$$

С учетом аэродинамического сопротивления участков горных выработок ( $r_k, r_1, r_1', r_2', r_2, \dots, r_n$ )

$$h_{ум.2} = h_{ум.1} + h_2 + h_2' = (r_k + r_1 + r_1') Q_k^2 + (r_2 + r_2') Q_k Q_n;$$

$$Q_{н1} = Q_n + Q_{ум.1};$$

$$h_{ум.3} = h_{ум.2} + (r_3 + r_3') Q_{н1} (Q_{н1} + Q_{ум.3}).$$

По данной методике определялись основные вентиляционные параметры ( $Q_{ум.х}, R_{сб.х}, Q_x, h_x$ ) и их изменение по длине параллельных выработок до 1,0 км при расстоянии между сбояками от 0,06 до 0,3 км.

При исследовании утечек воздуха в параллельных выработках марганцевых шахт были получены результаты по относительному изменению количества воздуха по длине параллельных выработок до 1000 м при расстоянии между сбояками 60...300 м (табл. 1).

Таблиця 1

Изменение расхода воздуха по длине параллельных выработок

№ кривых	Число сбоек $n_{сб}$	Экспериментальные точки			Параметры кривой			Расчетные точки
		$y_i = \frac{Q_{x_i}}{Q_n}$	$x_i = 2\left(\frac{l_x}{L} - 0,5\right)$	$\frac{l_x}{L}$	$a$	$b$	$\tau$	
1	10	0	-1	0	0,42	0,58	2,14	-0,15
		0,07	-0,85	0,075				0,01
		0,13	-0,65	0,175				0,18
		0,29	-0,43	0,285				0,32
		0,41	-0,19	0,405				0,40
		0,43	0,16	0,580				0,43
		0,56	0,53	0,765				0,57
		0,63	0,65	0,825				0,65
		0,71	0,73	0,865				0,71
		0,86	0,85	0,925				0,83
		1	1	1			1	
2	4	0,30	-1	0	0,59	0,41	0,46	0,18
		0,34	-0,34	0,33				0,34
		0,44	-0,06	0,47				0,48
		0,86	0,38	0,69				0,85
		1	1	1				1
3	5	0,21	-1	0	0,49	0,51	0,89	-0,02
		0,26	-0,66	0,17				0,14
		0,30	-0,08	0,46				0,43
		0,60	0,12	0,56				0,57
		0,71	0,44	0,72				0,74
		0,77	0,83	0,92				0,92
		1	1	1				1
4	7	0,22	-1	0	0,46	0,53	0,89	0,06
		0,23	-0,23	0,39				0,32
		0,35	0,05	0,53				0,51
		0,57	0,32	0,66				0,66
		0,70	0,50	0,75				0,75
		0,82	0,59	0,80				0,80
		0,88	0,71	0,86				0,86
		1	1	1				1
5	4	0,10	-1	0	0,63	0,37	0,3	0,26
		0,31	-0,81	0,10				0,29
		0,40	-0,32	0,34				0,37
		0,82	0,20	0,60				0,86
		1	1	1				1

При статистической обработке полученных результатов установлены функциональные зависимости

между параметрами  $\frac{Q_x}{Q_n}$  и  $\frac{l_x}{L}$  (рис. 2)

$$\frac{Q_x}{Q_n} = f\left(\frac{l_x}{L}\right),$$

где  $Q_n$ ,  $Q_x$  – соответственно расходы воздуха в начале параллельных выработок на расстоянии  $L$  и на

расстоянии  $l_x$  (за начало отсчёта принимается конец параллельной выработки).

Полученные кривые могут быть удовлетворительно описаны полиномиальными уравнениями 4-й и 6-й степени:

при  $n_{сб} = 10$

$$\frac{Q_x}{Q_H} = -33,717\left(\frac{l_x}{L}\right)^6 + 87,513\left(\frac{l_x}{L}\right)^5 - 75,608\left(\frac{l_x}{L}\right)^4 + 23,296\left(\frac{l_x}{L}\right)^3 - 1,1361\left(\frac{l_x}{L}\right)^2 + 0,6468\left(\frac{l_x}{L}\right) + 0,0046$$

с достоверностью  $R^2 = 0,9984$ ;  
при  $n_{сб} = 4$

$$\frac{Q_x}{Q_H} = -12,039\left(\frac{l_x}{L}\right)^4 + 20,92\left(\frac{l_x}{L}\right)^3 - 9,6361\left(\frac{l_x}{L}\right)^2 + 1,4556\left(\frac{l_x}{L}\right) + 0,3$$

с достоверностью  $R^2 = 1$ ;  
при  $n_{сб} = 5$

$$\frac{Q_x}{Q_H} = -193,2\left(\frac{l_x}{L}\right)^6 + 679,43\left(\frac{l_x}{L}\right)^5 - 901,72\left(\frac{l_x}{L}\right)^4 + 553,31\left(\frac{l_x}{L}\right)^3 - 150,86\left(\frac{l_x}{L}\right)^2 + 13,84\left(\frac{l_x}{L}\right) + 0,21$$

с достоверностью  $R^2 = 1$ ;  
при  $n_{сб} = 7$

$$\frac{Q_x}{Q_H} = -17,326\left(\frac{l_x}{L}\right)^6 + 70,345\left(\frac{l_x}{L}\right)^5 - 115,2\left(\frac{l_x}{L}\right)^4 + 91,619\left(\frac{l_x}{L}\right)^3 - 32,962\left(\frac{l_x}{L}\right)^2 + 4,3078\left(\frac{l_x}{L}\right) + 0,22$$

с достоверностью  $R^2 = 0,9987$ ;  
при  $n_{сб} = 4$

$$\frac{Q_x}{Q_H} = -17,309\left(\frac{l_x}{L}\right)^4 + 30,592\left(\frac{l_x}{L}\right)^3 - 15,77\left(\frac{l_x}{L}\right)^2 + 3,3885\left(\frac{l_x}{L}\right) + 0,1$$

с достоверностью  $R^2 = 1$ .

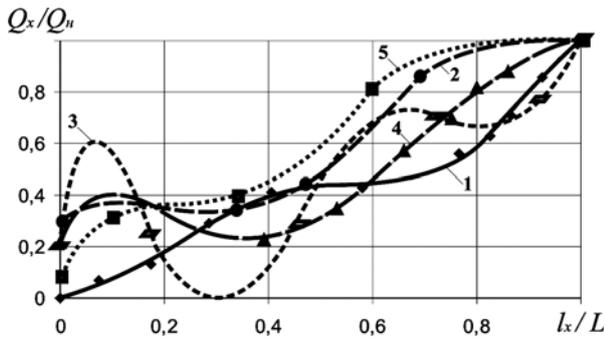


Рис. 2. Изменение расхода воздуха по длине параллельных выработок: 1, 2, 3, 4, 5 – соответственно при количестве сбоек  $n_{сб} = 10, 4, 5, 7$  и 4

С целью обобщения результатов экспериментальных измерений и получения многофакторной зависимости, учитывающей основные параметры, определяемые на основании экспериментальных данных, все графики функций, представленных на рис. 1, могут быть описаны, без ущерба для точности, уравнением вида

$$y = a + bx^\tau, \quad (1)$$

где  $a, b, \tau$  – параметры, определяемые на основании экспериментальных данных.

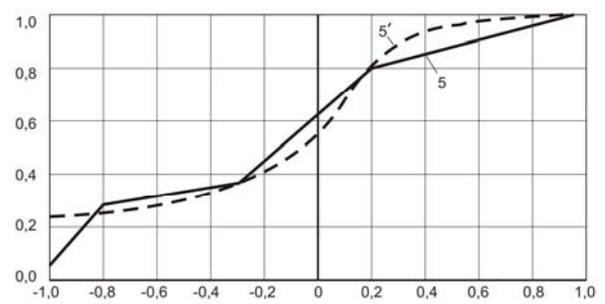
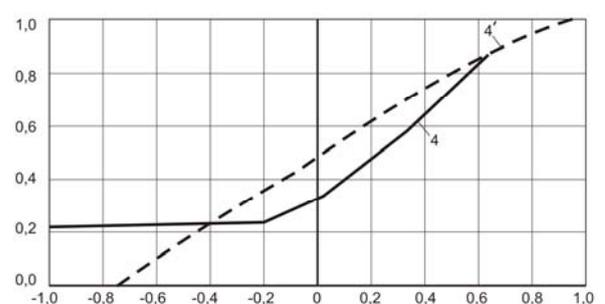
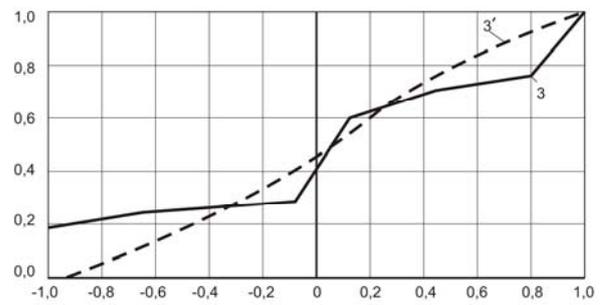
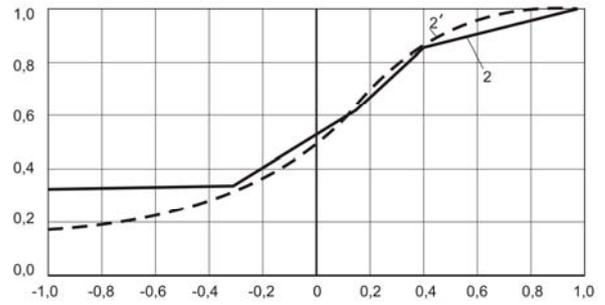
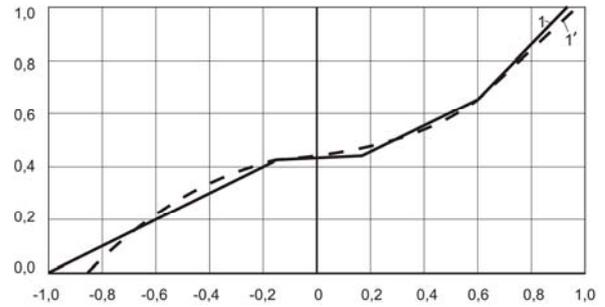


Рис. 3. Проверка на адекватность уравнения (1): 1, 2, 3, 4, 5 – экспериментальная кривая; 1', 2', 3', 4', 5' – аналитическая кривая

Для нахождения этих параметров начало координат выберем в середине штрэка (рис. 3), т.е.

$$x = \frac{l_i}{0,5L}$$

В этом случае кривые будут кососимметричны, а величина  $a$ , на которую центр кривой возвышается над началом координат, равна

$$a = 0,5 \int_{-1}^1 y(x) dx \quad (2)$$

Коэффициент  $a$  для каждой кривой, представленной на рис. 2, есть сумма площадей отдельных трапеций, деленная на два.

При условии, что начало параллельных выработок размещено в точке  $x=1$ , где  $y(x) \Big|_{x=L}=1$ , имеем  $1 = a + b$ , откуда  $b = 1 - a$ .

Для определения параметра  $\tau$  используем метод выпрямления.

Прологарифмируем уравнение (1)

$$\ln(y - a) \ln b + \tau \ln x \quad (3)$$

В точке  $x = x_i$  согласно эксперименту  $y = y_i$ . Если эти данные подставить в уравнение (3), то получим невязку

$$\Delta_i = \ln(y_i - a) - \ln b - \tau \ln x_i,$$

которая представляет собой разность экспериментальных значений в эмпирической формуле.

Поставим условие, что сумма невязок во всех точках должна равняться нулю, то есть  $\sum_{i=1}^m \Delta_i = 0$ , тогда

$$\sum_{i=1}^m \ln(y_i - a) - \sum_{i=1}^m \ln b - \tau \sum_{i=1}^m \ln x_i = 0.$$

Учитывая, что

$$\sum_{i=1}^m \ln b = m \ln b,$$

получим формулу для определения параметра  $\tau$

$$\tau = \frac{\sum_{i=1}^m \ln(y_i - a) - m \ln b}{\sum_{i=1}^m \ln x_i} \quad (4)$$

В табл. 1 приведены экспериментальные и расчетные данные, из которых видно, что расхождение опытных данных с результатами, подсчитанными по формулам (2), (4) не превышает 5...6%.

Зависимости параметров  $a$  и  $\tau$  от числа вентиляционных сбоек приведены на рис. 4, 5.

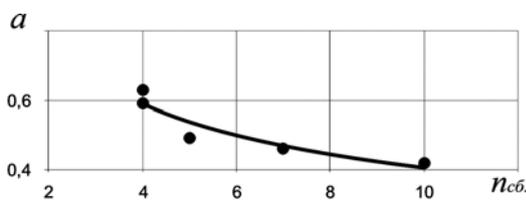


Рис. 4. Зависимость параметра  $a$  от числа вентиляционных сбоек

На основании графиков получены эмпирические формулы для определения этих параметров

$$a = 1,0246 \cdot n_{сб.}^{-0,4}; \quad \tau = 0,036 \cdot n_{сб.}^{1,76}.$$

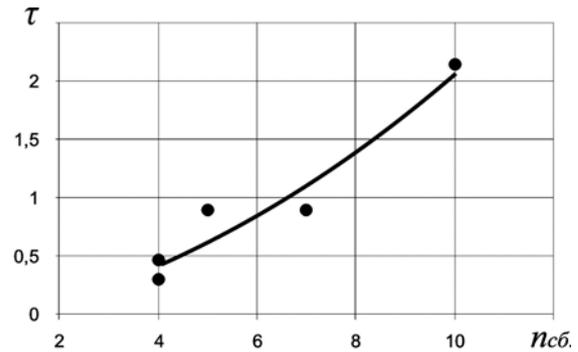


Рис. 5. Зависимость параметра  $\tau$  от числа вентиляционных сбоек

Для нахождения общего уравнения изменения количества воздуха по длине параллельных выработок подставим полученные значения параметров  $a, b, \tau$  в формулу (1) и получим

$$\frac{Q_x}{Q_H} = 1,0246 \cdot n_{сб.}^{-0,4} + \text{sign} \left[ 2 \left( \frac{l_x}{L} - 0,5 \right) \right] \times \left( 1 - 1,0246 \cdot n_{сб.}^{-0,4} \right) \left| 2 \left( \frac{l_x}{L} - 0,5 \right) \right|^{0,036 \cdot n_{сб.}^{1,76}},$$

где  $\left| 2 \left( \frac{l_x}{L} - 0,5 \right) \right|$  – абсолютная величина.

Откуда

$$Q_x = Q_H \left\{ \begin{aligned} &1,0246 \cdot n_{сб.}^{-0,4} + \text{sign} \left[ 2 \left( \frac{l_x}{L} - 0,5 \right) \right] \times \\ &\times \left( 1 - 1,0246 \cdot n_{сб.}^{-0,4} \right) \left| 2 \left( \frac{l_x}{L} - 0,5 \right) \right|^{0,036 \cdot n_{сб.}^{1,76}} \end{aligned} \right\} \text{м}^3/\text{с}. \quad (5)$$

По формуле (5) можно определить количество воздуха  $Q_x$ , поступающее в любое место с учётом утечек через вентиляционные сбойки, при замере его расхода  $Q_H$  в начале параллельных выработок.

Суммарные утечки воздуха на этом участке будут равны

$$\sum Q_{ym} = Q_H - Q_x \text{ м}^3/\text{с}.$$

**Выводы.** Выполнен анализ непроизводительных потерь воздуха через вентиляционные сооружения установленных в шахтных вентиляционных сетях марганцевых шахт.

### Список литературы

1. Добыча, переработка и использование марганцевых руд / Урманцев В.П. и др. – М.: Недра, 1980. – 294 с.
2. Яворская Е.А. Повышение эффективности использования вентиляционных сооружений // Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва // Наук.-вироб. зб. – Кременчук: КДПУ, 2009. – Вип. 1(3). – С. 87-96.

Рекомендовано до публікації д.т.н. В.І. Голіньком 02.11.09