

УДК – 622.456

Е. П. АННЕНКОВ, канд. техн. наук, зав. отд.,
С. А. ШЕВЦОВ, науч. сотрудник,
Б. Н. ИОТЕНКО, канд. техн. наук, ведущий науч. сотрудник,
А. В. СКРЫПНИК, мл. науч. сотрудник,
В. Н. МИСЛЯВЦЕВ, ст. науч. сотрудник; МакНИИ, г. Макеевка

О ДЛИНЕ ТУПИКОВЫХ ВЫРАБОТОК, ПРОВЕТРИВАЕМЫХ ГИБКИМИ ВЕНТИЛЯЦИОННЫМИ ТРУБАМИ

Приведены результаты расчетов предельных длин тупиковых выработок, в которые возможно подать по гибким вентиляционным трубам заданный расход воздуха в зависимости от числа применяемых ВМП и схем их соединения.

Ключевые слова: длина тупиковой выработки, длина звена трубопровода, рекуррентная формула, утечка стыка, воздухопроницаемость гибких вентиляционных труб.

С появлением новых бесшовных гибких вентиляционных труб возникает необходимость их применения для проветривания тупиковых выработок шахт и расчета предельной длины тупиковой выработки, на которую можно подать требуемый расход воздуха $Q_{з.п.}$ (м³/с).

Цель работы – рассчитать предельные длины тупиковых выработок, на которые можно подать требуемый расход воздуха $Q_{з.п.}$ (м³/с).

Для решения этой задачи необходимо иметь значения воздухопроницаемости труб и утечки стыка [1]. Математическая модель движения воздуха по гибким вентиляционным трубам описывается дифференциальным уравнением вида [2]:

$$\frac{dQ}{dx} = \pi k_1 \cdot d_{mp} \left(r x Q_{n-1} \cdot Q + \sum_{i=0}^{n-1} h_i \right), \quad (1)$$

где k_1 – удельный коэффициент воздухопроницаемости поверхности трубы, м/(с · Па);

d_{mp} – диаметр трубопровода, м;

r – удельное аэродинамическое сопротивление трубопровода,
Па · с²/м⁷;

x – расстояние по оси трубопровода от выхода из звена, м;

Q_{n-1} и Q – расход воздуха соответственно на выходе из звена и на расстоянии x от конца трубопровода, м³/с;

h – депрессия i -го звена, Па;

n – число звеньев (стыков).

Решением данного уравнения будут рекуррентные формулы:

$$Q_n = (\exp A \cdot Q_{n-1}) \left(Q_{n-1} + \pi k_1 \cdot d_{mp} \left(\sum_{i=0}^{n-1} h_i \right) l_{3\phi} \cdot \left(1 - \frac{A \cdot Q_{n-1}}{3} + \frac{A^2 \cdot Q_{n-1}^2}{10} - \frac{A^3 \cdot Q_{n-1}^3}{42} \right) \right) + \pi k_2 \cdot d_{mp} \cdot \sqrt{\sum_{i=0}^n h_i} \quad (2)$$

$$h_n = Q_{n-1} (\exp A \cdot Q_{n-1}) \left(Q_{n-1} + \pi k_1 \cdot d_{mp} \left(\sum_{i=0}^{n-1} h_i \right) l_{3\phi} \cdot \left(1 - \frac{A \cdot Q_{n-1}}{3} + \frac{A^2 \cdot Q_{n-1}^2}{10} - \frac{A^3 \cdot Q_{n-1}^3}{42} \right) \right) \times r \cdot l_{3\phi} \quad (3)$$

$$A = 0,5 \cdot \pi k_1 \cdot d_{mp} \cdot r \cdot l_{3\phi}^2, \quad (4)$$

где Q_n – расход воздуха перед входом в i -е звено (включая утечки через i -й стык), м³/с;

$l_{3\phi}$ – длина звена трубопровода, м;

k_2 – удельный коэффициент стыковой воздухопроницаемости, м²/(с · Па^{0,5});

h_i – депрессия i -го звена трубопровода, Па.

Формулы позволяют вести расчёт с помощью ЭВМ. Расчет Q_n и h_n для различных значений длины трубопровода l_{mp} , где $l_{mp} = n \cdot l_{3\phi}$ – позволяет построить характеристику сети:

$$h_{сети} = f_c(Q).$$

Для различных длин трубопровода l_{mp} , имея характеристики $h_g = f_g(Q)$ для различных типов вентиляторов местного проветривания (ВМП), применяемых в шахтах, $h_{сети} = f_c(Q)$ их количества и схем соединения, можно,

решая эти уравнения совместно, найти l_{max} – максимальную длину тупика (трубопровода), на которую можно подать в призабойное пространство $Q_{з.п.}$.

Значения максимальной длины тупиковой выработки в зависимости от количества воздуха, подаваемого в забой, типа и количества вентиляторов, диаметра и длины звена сварных и бесшовных труб сведены в таблицу.

ВЫВОДЫ

Проведен расчет длины тупиковой выработки, на которую можно подать $Q_{з.п.}$ (m^3/c) для различных типов вентиляторов и для различных схем соединения и количества применяемых вентиляторов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Труби вентиляційні гнучкі шахтні й фасонні частини до них. Загальні технічні вимоги: СОУ 10.100174088.002-2005. – Офіц. вид. – К.: Мінвуглепром України, 2005. – 33 с. – (Нормативний документ Мінвуглепрому України).
2. Бусыгин К. К. О требованиях к герметичности шахтных гибких вентиляционных труб / К. К. Бусыгин // Уголь Украины. – 1999. – №7. – С. 36-39.
3. Бусыгин К. К. Коэффициент утечек воздуха в гибких вентиляционных трубопроводах / К. К. Бусыгин // Способы и технические средства обеспечения безопасных и здоровых условий труда на угольных шахтах: сб. науч. тр. / МакНИИ. – Макеевка-Донбасс, 1989. – С.16-18.
4. Керівництво щодо проектування вентиляції вугільних шахт: НПАОП 10.0-7.08-93. – Офіц. вид. – К., 1993. – 311с. – (Нормативно-правовий документ Держнаглядохоронпраці України).

Получено: 15.08. 2012 г.

Таблица

Максимальная длина тупиковой выработки в зависимости от расхода воздуха в забое, типа и количества вентиляторов, диаметра и длины звена сварных и безшовных труб

Тип ВМП	Кол-во ВМП, схема соединения ВМП	Диаметр труб, м	Максимальная длина тупиковой выработки (м) при расходе воздуха, $Q_{з.п}$, м ³ /с												
			1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	7,0	8,0	9,0
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
При длине звена 20 м															
ВМЭ2-8	один	0,8	3000	3000	2560	1980	1560	1260	1020	840	700	600	440	320	260
		1,0	3000	3000	3000	3000	3000	3000	2600	2220	1900	1640	1240	960	760
		1,2	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000
	два, пз	0,8	3000	3000	3000	2980	2460	2060	1740	1480	1280	1100	820	640	500
		1,0	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	2640	2100	1660	1360
		1,2	н. д	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000
ВМЭ2-10	один	0,8	н. д	н. д	н. д	н. д	н. д	н. д	н. д	н. д	н. д	760	580	440	360
		1,0	н. д	н. д	н. д	н. д	н. д	н. д	3000	2700	2340	2060	1620	1280	1060
		1,2	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000
	два, пз	0,8	н. д	н. д	н. д	н. д	2860	2420	2100	1800	1580	1380	1080	860	700
		1,0	н. д	н. д	н. д	н. д	н. д	н. д	3000	3000	3000	3000	2660	2220	1860
		1,2	н. д	н. д	н. д	н. д	н. д	н. д	н. д	н. д	3000	3000	3000	3000	3000
ВМЭУ-5	один	0,8	3000	2500	1760	1300	940	700	500	-	-	-	-	-	-
		1,0	3000	3000	3000	3000	2280	1780	1320	-	-	-	-	-	-
		1,2	3000	3000	3000	3000	3000	3000	2280	-	-	-	-	-	-
	два, пз	0,8	3000	3000	2680	2060	1580	1160	900	-	-	-	-	-	-
		1,0	3000	3000	3000	3000	2940	2140	1320	-	-	-	-	-	-
		1,2	н.д	3000	3000	3000	3000	3000	2300	-	-	-	-	-	-

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
ВМЭУ-6	Один	0,8	3000	2720	1920	1440	1100	840	660	520	420	320	200	120	-
		1,0	3000	3000	3000	3000	2700	2180	1760	1400	1140	940	620	360	-
		1,2	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	2400	1100	-
	два, пз	0,8	3000	3000	2940	2300	1820	1460	1160	960	780	620	420	240	-
		1,0	3000	3000	3000	3000	3000	3000	2700	2280	1940	1600	1100	580	-
		1,2	н.д	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	2940	1280	-
ВМЭУ-6-01	один	0,8	н. д	740	600	500	420	340	180	100					
		1,0	3000	3000	3000	3000	2940	2400	2000	1680	1400	1180	820	540	340
		1,2	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	2180	1420
	два, пз	0,8	н. д	1620	1340	1120	940	780	540	360	220				
		1,0	н. д	н. д	н. д	н. д	3000	3000	3000	2640	2280	1920	1400	960	620
		1,2	н. д	3000	3000	3000	3000	3000	2740	1340					
ВМЭУ-10	один	0,8	н. д	300	220	180									
		1,0	н. д	900	700	560									
		1,2	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	2620
	два, пз	0,8	н. д	1100	920	780	580	460	360						
		1,0	н. д	3000	2740	2380	2100	1620	1320	1060					
		1,2	н. д	3000	3000	000	3000								
При длине звена 60 м															
ВМЭ2-8	один	0,6	1800	1140	720	540	360	300	240	180	120	120	60	60	60
		0,8	4000	3780	2760	2100	1620	1260	1020	840	720	600	420	300	240
		1,0	4000	4000	4000	4000	4000	3360	2760	2340	1980	1680	1260	960	720
		1,2	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	3420
	два, пз	0,6	2760	1860	1320	960	720	600	480	360	300	240	180	120	120
		0,8	4000	4000	4000	3300	2700	2220	1800	1560	1320	1080	840	600	480
		1,0	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	3720	3240	2880	2220	1740	1380
		1,2	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
ВМЭ2-10	Один	0,6	н.д	120	60	60										
		0,8	н.д	780	540	420	360									
		1,0	н.д	2880	2460	2160	1680	1320	1080							
		1,2	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000
	два, пз	0,6	н.д.	н.д	240	120	120									
		0,8	н.д	1920	1620	1440	1080	840	660							
		1,0	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	3900	3480	2820	2340	1920
		1,2	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000
ВМЭУ-5	один	0,6	н.д	720	480	300	180	120	60	-	-	-	-	-	-	
		0,8	4000	2760	1920	1320	960	660	540	-	-	-	-	-	-	
		1,0	4000	4000	4000	3360	2520	1920	1440	-	-	-	-	-	-	
		1,2	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	3300	-	-	-	-	-	-
	два, пз	0,6	2100	1320	840	600	420	300	240	-	-	-	-	-	-	-
		0,8	4000	4000	3000	2220	1680	1260	900	-	-	-	-	-	-	-
		1,0	4000	4000	4000	4000	3720	2760	1740	-	-	-	-	-	-	-
		1,2	4000	4000	4000	4000	4000	4000	3300	-	-	-	-	-	-	-
ВМЭУ-6	один	0,6	н.д	840	540	360	240	180	120	120	60	60	-	-	-	
		0,8	4000	3000	2100	1500	1140	840	660	480	420	300	180	120	-	
		1,0	4000	4000	4000	3840	2940	2340	1860	1500	1200	960	660	360	-	
		1,2	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	2700	1260	-	
	два, пз	0,6	2280	1500	1020	720	480	360	300	180	180	120	60	-	-	
		0,8	4000	4000	3300	2520	1980	1500	1200	960	780	600	420	240	-	
		1,0	4000	4000	4000	4000	4000	4000	3600	3000	2520	2100	1680	1140	600	-
		1,2	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	3660	1440	-
ВМЭУ-6-01	один	0,6	н.д	н.д	н.д	н.д	н.д	н.д	120	120	60	60	60	-	-	
		0,8	н.д	600	480	420	240	180	-							
		1,0	н.д	2100	1740	1440	1200	840	540	360						
	два, пз	1,2	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	3420	2460	1560
		0,6	н.д	240	180	180	120	60	-							
		0,8	н.д	1380	1140	960	780	540	360	180						
		1,0	4000	4000	4000	4000	4000	4000	3420	2880	2460	2040	1500	960	660	

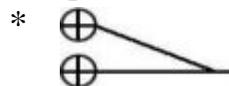
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
		1,2	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	3480	1800
ВМЭУ-10	один	0,6	н.д	60	-	-									
		0,8	н.д	300	180	180									
		1,0	н.д	900	660	540									
		1,2	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	3360	2760
	два, пз	0,6	н.д	120	60	-									
		0,8	н.д	600	420	360									
		1,0	н.д	2220	1680	1320	1080								
		1,2	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000
При длине звена 100 м															
ВМЭ2-8	один	0,6	н.д	1100	700	500	400	300	200	200	100	100	100	-	-
		0,8	4000	3900	2800	2100	1600	1300	1000	800	700	600	400	300	200
		1,0	4000	4000	4000	4000	4000	3400	2800	2400	2000	1700	1300	900	700
		1,2	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	3500
	два, пз	0,6	2800	1900	1300	1000	700	600	400	300	300	200	200	100	100
		0,8	4000	4000	4000	3300	2700	2200	1800	1500	1300	1100	800	600	500
		1,0	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	3800	3300	2900	2200	1700	1400
		1,2	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000
ВМЭ2-10	один	0,6	н.д	100	100										
		0,8	н.д	500	500										
		1,0	н.д	2900	2500	2200	1700	1300	1000						
		1,2	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000
	два, пз	0,6	н.д	200	200	100									
		0,8	н.д	1900	1600	1400	1100	800	700						
		1,0	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	3600	2900	2300	1900
		1,2	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000
ВМЭУ-5	один	0,6	н.д	700	400	300	200	100	100	-	-	-	-	-	-
		0,8	4000	2800	1900	1300	1000	700	500	-	-	-	-	-	-
		1,0	4000	4000	4000	3500	2500	1900	1500	-	-	-	-	-	-
		1,2	4000	4000	4000	4000	4000	4000	3600	-	-	-	-	-	-

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
При длине звена 20 м															
ВМ-6	один	0,6	920	680	510	400	320	250	200	160	140	100	-	-	-
		0,8	1700	1400	1160	960	800	680	570	470	380	300	200	100	-
ВМ-6	два, пз	0,6	1200	890	710	690	490	400	320	270	220	180	100	-	-
		0,8	1940	1570	1520	1120	950	810	700	600	520	430	290	150	-
ВМ-6	два, пр*	0,6	930	700	520	400	330	260	210	170	150	150	90	-	-
		0,8	1770	1450	1220	1050	910	780	670	580	520	450	340	270	210
ВМ-6	четыре по два соединенные ПЗ, которые в свою очередь соединены ПР **	0,6	1160	900	750	600	520	440	380	320	270	230	170	130	100
		0,8	2170	1760	1450	1270	1140	1010	900	810	730	660	540	430	350

ПРИМЕЧАНИЕ: пз – последовательное соединения; пр – параллельное соединение.



пз



пр



пз, пр

Приведені результати розрахунків граничних довжин тупикових виробок, у які можливо надати по гнучких вентиляційних трубах задану витрату повітря в залежності від кількості використовуваних ВМП і схем їх з'єднання.

Ключові слова: довжина тупикової виробки, довжина ланки трубопроводу, рекурентна формула, витік стику, повітропроникність гнучких вентиляційних труб.

About length of blind workings which can be aired flexible ventilating pipes.

Results of blind drift lengths calculations to which it is possible to submit the set consumption of air depending on applied VMP and schemes of their connection are given in article.

Key-words: blind workings length, string length, recurrent formula, conjunction leaking, flexible ducts breathability.