

УДК 622.868.883

О. М. ЛОТОЦКАЯ, *мл. науч. сотрудник,*
О. А. ИЛЮЩЕНКО, *мл. науч. сотрудник,*
С. А. ШЕВЦОВ, *ст. науч. сотрудник,*
В. Д. АШИХМИН, *зав. лаб.; МакНИИ, г. Макеевка*

О РАСЧЕТЕ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ВОЗДУХОПРОНИЦАЕМОСТИ ГИБКИХ ШАХТНЫХ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ ТРУБ

Приведены результаты расчета неопределенности измерения воздухопроницаемости гибких шахтных вентиляционных труб в зависимости от использования различных измерительных приборов.

Ключевые слова: гибкие шахтные вентиляционные трубы, результаты измерений, неопределенность измерения, воздухопроницаемость.

Гибкие шахтные вентиляционные трубы широко используются в горной промышленности. Они предназначены для подачи воздуха в тупиковые выработки угольных шахт, опасных и не опасных по метану и угольной пыли с температурой воздуха до 40 °С и относительной влажностью до 100 %.

Важнейшими аэродинамическими параметрами вентиляционных трубопроводов являются их аэродинамическое сопротивление, воздухопроницаемость и депрессия.

В 2005 году был разработан и принят СОУ 10.1.00174088.002-2005 «Трубы вентиляционные гибкие шахтные и фасонные части к ним» [1].

В разделе 5 данного документа регламентированы воздухопроницаемость гибких шахтных вентиляционных труб и утечка воздуха на стыке (см. табл. 2 и табл. 3 [1]). Однако, в вышеуказанном документе [1] нет данных неопределенности измерения воздухопроницаемости гибких шахтных вентиляционных труб \varnothing 800 мм.

Современный подход к измерению физических величин требует представление результатов измерения с указанием неопределенности измерения физической величины [2].

Целью данной работы является расчет неопределенности измерения воздухопроницаемости гибких шахтных вентиляционных труб.

Согласно [1] при измерении воздухопроницаемости вентиляционных труб используются: счетчик газа РГ-40, ротаметр РМ-4ГУЗ, сужающее уст-

ройство (диафрагма). На основании п. 5.1 Приложения А СОУ 10.1.00174088.002-2005 расчет воздухопроницаемости определяется из модельного уравнения

$$q = 0,2778 \frac{Q_0}{L} \cdot \frac{\rho}{\rho_n}, \quad (1)$$

где 0,2778 – коэффициент перевода м³/час в дм³/час;
 Q_0 – объемный расход воздуха в рабочем состоянии, м³/час;
 ρ – плотность воздуха в рабочем состоянии, кг/м³;
 ρ_n – плотность воздуха в нормальном состоянии, равная 1,205 кг/м³;
 L – длина вентиляционной трубы, м;
 q – воздухопроницаемость гибких вентиляционных труб, дм³/(с·м).

Определяем коэффициенты влияния и коэффициенты корреляции.

Поскольку все величины модельного уравнения независимы друг от друга, то коэффициент корреляции равен 0.

Определим коэффициент чувствительности

$$C(Q_0) = \frac{\partial q}{\partial Q_0} = 0,2778 \frac{\rho}{\rho_n \cdot L} = \frac{q}{Q_0}, \quad (2)$$

$$C(\rho_n) = \frac{\partial q}{\partial \rho_n} = 0,2778 \frac{\rho}{\rho_n \cdot L} = -\frac{q}{\rho_n}, \quad (3)$$

$$C(L) = \frac{\partial q}{\partial L} = 0,2778 \frac{\rho}{\rho_n \cdot L} = -\frac{q}{L}. \quad (4)$$

Часть неизвестности $u_i(q)$ каждой входящей величины x_i (Q_0 , ρ , ρ_n , L) в неопределенности $u(q)$ величины q , которую измеряют (суммарная неопределенность), рассчитаем как произведение коэффициента чувствительности на неопределенность входящей величины

$$u_{Q_0}(q) = C(Q_0) \cdot U(Q_0) = \frac{q}{Q_0} U(Q_0) = q \frac{U(Q_0)}{Q_0} = q \cdot \delta_{Q_0}; \quad (5)$$

$$u_{\rho}(q) = C(\rho) \cdot U(\rho) = \frac{q}{\rho} U(\rho) = q \frac{U(\rho)}{\rho} = q \cdot \delta_{\rho}; \quad (6)$$

$$u_{\rho_n}(q) = C(\rho_n) \cdot U(\rho_n) = -\frac{q}{\rho_n} U(\rho_n) = -q \frac{U(\rho_n)}{\rho_n} = -q \cdot \delta_{\rho_n}; \quad (7)$$

$$u_L(q) = C(L) \cdot U(L) = -\frac{q}{L} U(L) = -q \frac{U(L)}{L} = -q \cdot \delta_L. \quad (8)$$

Оценка стандартной и расширенной неопределенности.

Стандартная неопределенность – неопределенность результата измерений, выраженная в виде среднего квадратического отклонения.

Расширенная неопределенность – величина, определяющая интервал вокруг результата измерений, в пределах которого, как можно ожидать, находится большая часть распределения значений, которые с достаточным основанием могли бы быть приписаны измеряемой величине.

Рассчитаем δ_{ρ} , δ_{ρ_n} , δ_L

$$\delta_{\rho} = \delta_{\rho_n} = \frac{0,001}{1,205} = 8,30 \cdot 10^{-4} \text{ долей единицы,} \quad (9)$$

$$\delta_L (L = 3) = \frac{\frac{1\text{мм}}{2\sqrt{3}}}{3000\text{мм}} = 9,6 \cdot 10^{-5} \text{ долей единицы,} \quad (10)$$

где 1 мм – цена деления рулетки,
 $2\sqrt{3}$ – делитель, если закон распределения величины неизвестен,
 $L = 3$ м – длина трубы на испытании.

$$\delta_L (L = 5) = \frac{\frac{1\text{мм}}{2\sqrt{3}}}{5000\text{мм}} = 5,8 \cdot 10^{-5} \text{ долей единицы,} \quad (11)$$

где $L = 5$ м – длина трубы на испытании.

Так как Q_0 – объемный расход воздуха измеряется тремя устройствами, необходимо рассчитывать δ_{Q_0} для всех трех устройств и также неопределенность измерений.

Газовый счетчик. Рассчитаем δ_{Q_0} для газового счетчика РГ-40. Расход Q_0 газовым счетчиком РГ-40 рассчитывается по модельному уравнению

$$Q_0 = 60 \frac{(A_2 - A_1)}{t}, \quad (12)$$

где t – время измерения расхода, мин,
 $t = 1$ мин.

Неопределенность измерения промежутка времени в диапазоне рабочих температур составляет 5,4 сек в интервале до 60 мин. или для одной минуты (из паспорта на прибор)

$$\Delta t = \frac{5,4}{60} = 0,09 \text{сек} = 9,0 \cdot 10^{-2} \text{сек}, \quad (13)$$

Цена деления секундомера 0,2 сек, тогда

$$\Delta t = \frac{0,2}{2\sqrt{3}} = 5,77 \cdot 10^{-2} \text{сек}. \quad (14)$$

Неопределенность измерения промежутка времени 60 сек составит

$$\delta_t = \frac{9,0 \cdot 10^{-2} + 5,77 \cdot 10^{-2}}{60} = 2,46 \cdot 10^{-3} \text{ долей единицы}. \quad (15)$$

Неопределенность расхода воздуха прибором РГ-40, согласно паспортным данным на прибор, приведена в табл. 1.

Таблица 1

Неопределенность расхода воздуха прибором РГ-40,
согласно паспортным данным

№ п/п	Диапазон Q_0 , м ³ /час	Неопределенность δ_{Q_i} , доли единицы	$\delta_{Q_0} = \sqrt{\delta_t^2 + \delta_{Q_i}^2}$
1	4 ÷ 8	0,03 (3 %)	$3,01 \cdot 10^{-2}$
2	8 ÷ 40	0,025 (2,5 %)	$2,51 \cdot 10^{-2}$

Это тип неопределенности В.

Результаты измерений расхода воздуха приведены в табл. 2 и 3.

Неопределенность измерения расхода воздуха при использовании газового счетчика РГ-40 по типу А в диапазонах $4 \div 8$ м³/час и $8 \div 40$ м³/час, согласно проведенным испытаниям на трубах составит

$$U_A = 0,06 \text{ м}^3/\text{час}$$

$$Q_0 = (4 \div 8) \text{ м}^3/\text{час}$$

$$U_A = 0,18 \text{ м}^3/\text{час}$$

$$Q_0 = (8 \div 40) \text{ м}^3/\text{час}$$

Таблица 2

Результаты измерения расхода воздуха газовым счетчиком РГ-40
на трубах $d = 800$ мм ($Q_0 = (4 \div 8)$ м³/час)

№ п/п	Расход Q_0 , м ³ /час	ΔA , м ³ /час
1	6,0	0,1
2	6,0	0,1
3	6,0	0,1
4	6,0	0,1
5	6,0	0,1
6	6,0	0,1
7	5,4	0,09
8	6,0	0,1
9	6,0	0,1
10	6,0	0,1
среднее	5,94	0,099

$$\sigma_{n-1} = \sqrt{\frac{(x - \bar{x})^2}{n-1}} = 0,1897 \text{ м}^3/\text{час}, \quad (16)$$

$$U_A = \sqrt{\frac{(x - \bar{x})^2}{n(n-1)}} = 0,06 \text{ м}^3/\text{час}. \quad (17)$$

Расчет произведен для результата из 10 повторных испытаний. Тогда для δ_{Q_0} по типу А в диапазоне $(4 \div 8)$ м³/час имеем

$$\delta_{Q_0} = \frac{0,06}{4} = 1,50 \cdot 10^{-2} \text{ доли единицы}. \quad (18)$$

Таблица 3

Результаты измерения расхода воздуха газовым счетчиком РГ-40
в трубах $d = 800$ мм ($Q_0 = (8 \div 40)$ м³/час)

№ п/п	Расход Q_0 , м ³ /час	ΔA , м ³ /час
1	28,8	0,48
2	30,6	0,51
3	30,6	0,51
4	30,6	0,51
5	30,6	0,51
6	30,6	0,51
7	30,6	0,51
8	30,6	0,51
9	30,6	0,51
10	30,6	0,51
среднее	30,42	0,507

$$\sigma_{n-1} = \sqrt{\frac{(x - \bar{x})^2}{n-1}} = 0,5692 \text{ м}^3/\text{час}, \quad (19)$$

$$U_A = \sqrt{\frac{(x - \bar{x})^2}{n(n-1)}} = 0,1800 \text{ м}^3/\text{час}. \quad (20)$$

Расчет произведен для результата из 10 повторных испытаний, а δ_{Q_0} имеем в диапазонах

$$\delta_{Q_0} = 3,36 \cdot 10^{-2} \text{ доли единицы,} \quad (4 \div 8) \text{ м}^3/\text{час} \left(\delta_{Q_0} = \sqrt{\delta_A^2 + \delta_B^2} \right),$$

$$\delta_{Q_0} = 3,37 \cdot 10^{-2} \text{ доли единицы,} \quad (8 \div 40) \text{ м}^3/\text{час} \left(\delta_{Q_0} = \sqrt{\delta_A^2 + \delta_B^2} \right).$$

Суммарная стандартная неопределенность измерений утечки воздуха, измеряемых газовым счетчиком РГ-40 в диапазонах:

1. $Q_0 = (4 \div 8)$ м³/час

$$\begin{aligned}
 U_c(q) &= \sqrt{(q \cdot \delta_{Q_0})^2 + (q \cdot \delta_{\rho})^2 + (q \cdot \delta_{\rho_n})^2 + (q \cdot \delta_L)^2} = \\
 &= q \sqrt{\delta_{Q_0}^2 + \delta_{\rho}^2 + \delta_{\rho_n}^2 + \delta_L^2} = \\
 &= q \sqrt{(3,36 \cdot 10^{-2})^2 + (8,3 \cdot 10^{-4})^2 + (8,3 \cdot 10^{-4})^2 + (9,6 \cdot 10^{-5})^2} = \\
 &= q \cdot 3,36 \cdot 10^{-2} \text{ (не более)}
 \end{aligned} \tag{21}$$

$$U_c(q) = 3,36 \cdot 10^{-2} \cdot q \text{ м}^3/\text{час}. \tag{22}$$

2. $Q_0 = (8 \div 40) \text{ м}^3/\text{час}$

$$\begin{aligned}
 U_c(q) &= \sqrt{(q \cdot \delta_{Q_0})^2 + (q \cdot \delta_{\rho})^2 + (q \cdot \delta_{\rho_n})^2 + (q \cdot \delta_L)^2} = \\
 &= q \sqrt{\delta_{Q_0}^2 + \delta_{\rho}^2 + \delta_{\rho_n}^2 + \delta_L^2} = \\
 &= q \sqrt{(3,37 \cdot 10^{-2})^2 + (8,3 \cdot 10^{-4})^2 + (8,3 \cdot 10^{-4})^2 + (9,6 \cdot 10^{-5})^2} = \\
 &= q \cdot 3,37 \cdot 10^{-2}
 \end{aligned} \tag{23}$$

$$U_c(q) = 3,37 \cdot 10^{-2} \cdot q \text{ м}^3/\text{час}. \tag{24}$$

Рассчитаем коэффициент покрытия k , для чего найдем v_{eff} в диапазонах

1. $Q_0 = (4 \div 8) \text{ м}^3/\text{час}$

$$v_{\text{eff}} = (n-1) \frac{U_c^4}{U_A^4} = 9 \cdot \left(\frac{3,36 \cdot 10^{-2}}{1,50 \cdot 10^{-2}} \right)^4 = 226 > 30, \tag{25}$$

$$k_{0,95} = 2,00.$$

2. $Q_0 = (8 \div 40) \text{ м}^3/\text{час}$

$$v_{\text{eff}} = (n-1) \frac{U_c^4}{U_A^4} = 9 \cdot \left(\frac{3,37 \cdot 10^{-2}}{2,25 \cdot 10^{-2}} \right)^4 = 45 > 30, \tag{26}$$

$$k_{0,95} = 2,00.$$

Расширенная неопределенность выражения в процентах измеряемой величины составит

$$1. Q_0 = (4 \div 8) \text{ м}^3/\text{час}$$

$$U = \frac{2,00 \cdot 3,36 \cdot 10^{-2} \cdot q}{q} \cdot 100\% = 6,72\% , \quad (27)$$

$$2. Q_0 = (8 \div 40) \text{ м}^3/\text{час}$$

$$U = \frac{2,00 \cdot 3,37 \cdot 10^{-2} \cdot q}{q} \cdot 100\% = 6,74\% . \quad (28)$$

При измерении Q_0 ($\text{м}^3/\text{час}$) газовым счетчиком РГ-40 утечки изменяются в диапазоне $q = (0,37 \div 3,7) \text{ дм}^3/(\text{с} \cdot \text{м})$ и неопределенность измерения не более 6,8 % от измеряемой величины.

Аналогично рассчитаем неопределенность измерения утечки воздуха гибкого трубопровода при измерении ротаметром РМ-4 ГУЗ.

Ротаметр РМ-4 ГУЗ. Рассчитываем δ_{Q_0} при измерении расхода воздуха ротаметром РМ-4 ГУЗ. Диапазон измеряемого расхода для ротаметра РМ-4 ГУЗ составляет $Q_0 = (2 \div 4) \text{ м}^3/\text{час}$.

Основная допускаемая неопределенность измерения расхода воздуха ротаметром РМ-4 ГУЗ составит, согласно паспорту прибора, 2,5 % от верхнего предела измерения, то есть на верхнем пределе $\delta_{Q_{0в1}} = 0,025$, а на нижнем $\delta_{Q_{0н1}} = 0,050$.

Неопределенность измерения по типу В, связанная со шкалой, составит

$$U_{в2} = \frac{0,03686}{2\sqrt{3}} = 1,064 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3/\text{час}; \quad (29)$$

где 0,03686 $\text{м}^3/\text{час}$ – цена деления шкалы ротаметра.

$$1. Q_0 = 2 \text{ м}^3/\text{час}$$

$$\delta_{Q_{0н2}} = \frac{1,064 \cdot 10^{-2}}{2,0} = 5,32 \cdot 10^{-3} \text{ доли единицы.} \quad (30)$$

$$2. Q_0 = 4 \text{ м}^3/\text{час}$$

$$\delta_{Q_{0в2}} = \frac{1,064 \cdot 10^{-2}}{4,0} = 2,66 \cdot 10^{-3} \text{ доли единицы.} \quad (31)$$

Тогда неопределенность измерения типа В для диапазонов составит:

1. $Q_0 = 2 \text{ м}^3/\text{час}$

$$\delta_{Q_0} = \sqrt{\delta_{Q_{H1}}^2 + \delta_{Q_{H2}}^2} = 5,03 \cdot 10^{-2} \text{ доли единицы.} \quad (32)$$

2. $Q_0 = 4 \text{ м}^3/\text{час}$

$$\delta_{Q_0} = \sqrt{\delta_{Q_{H1}}^2 + \delta_{Q_{H2}}^2} = 2,51 \cdot 10^{-2} \text{ доли единицы.} \quad (33)$$

Результаты измерения расхода воздуха приведены в таблицах 4 и 5.

Неопределенность измерения расхода воздуха ротаметром РМ-4 ГУЗ по типу А, согласно проведенным испытаниям на трубах, составит:

1. $Q_0 = 2 \text{ м}^3/\text{час}; \delta_{Q_{0A}} = 5,46 \cdot 10^{-3} \text{ доли единицы}; U_A = 3,7 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{час}.$

2. $Q_0 = 4 \text{ м}^3/\text{час}; \delta_{Q_{0A}} = 9,72 \cdot 10^{-3} \text{ доли единицы}; U_A = 3,7 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{час}.$

Таблица 4

Результаты измерения расхода воздуха ротаметром РМ-4 ГУЗ
в трубах $d = 800 \text{ мм}$ ($Q_0 = 2 \text{ м}^3/\text{час}$)

№ п/п	Расход, Q_0 , $\text{м}^3/\text{час}$	Делений шкалы
1	3,774	90
2	3,811	91
3	3,811	91
4	3,811	91
5	3,811	91
6	3,811	91
7	3,811	91
8	3,811	91
9	3,811	91
10	3,811	91
среднее	3,8073	90,9

Расчет произведен для результата из 10 повторных испытаний.

$$\sigma_{n-1} = 1,17 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3/\text{час}. \quad (34)$$

Для результата из 10 повторных испытаний

$$U_A = \sqrt{\frac{(x - \bar{x})^2}{n(n-1)}} = 3,7 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{час}. \quad (35)$$

Тогда для δ_{Q_0} по типу А имеем для $Q_0 \sim 4 \text{ м}^3/\text{час}$

$$\delta_{Q_{0A}} = \frac{3,7 \cdot 10^{-3}}{3,8073} = 9,72 \cdot 10^{-4} \text{ доли единицы}. \quad (36)$$

Таблица 5

Результаты измерения расхода воздуха ротаметром РМ-4 ГУЗ в трубах
 $d = 800 \text{ мм}$ ($Q_0 = 4 \text{ м}^3/\text{час}$)

№ п/п	Расход, Q_0 , $\text{м}^3/\text{час}$	Делений шкалы
1	0,641	5
2	0,678	6
3	0,678	6
4	0,678	6
5	0,678	6
6	0,678	6
7	0,678	6
8	0,678	6
9	0,678	6
10	0,678	6
среднее	0,6743	5,9

Расчет произведен для результата из 10 повторных испытаний.

$$\sigma_{n-1} = 1,17 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3/\text{час}. \quad (37)$$

Для результата из 10 повторных испытаний

$$U_A = r \frac{n-1}{\sqrt{10}} = 3,7 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{час}. \quad (38)$$

Для δ_{Q_0} по типу А имеем для $Q_0 \sim 2$ м³/час

$$\delta_{Q_{0A}} = \frac{3,7 \cdot 10^{-3}}{0,678} = 5,46 \cdot 10^{-4} \text{ доли единицы.} \quad (39)$$

Для $\left(\delta_{Q_0} = \sqrt{\delta_A^2 + \delta_B^2} \right)$ имеем в диапазонах:

$$1. Q_0 \sim 2 \text{ м}^3/\text{час}; \delta_{Q_0} = \sqrt{(5,03 \cdot 10^{-2})^2 + (5,46 \cdot 10^{-3})^2} = 5,1 \cdot 10^{-2} \text{ доли ед.} \quad (40)$$

$$2. Q_0 \sim 4 \text{ м}^3/\text{час}; \delta_{Q_0} = \sqrt{(2,51 \cdot 10^{-2})^2 + (9,72 \cdot 10^{-4})^2} = 2,51 \cdot 10^{-2} \text{ доли ед.} \quad (41)$$

Суммарная стандартная неопределенность измерения утечек воздуха, измеренных ротаметром РМ-4 ГУЗ в диапазонах, составит

1. $Q_0 \sim 2$ м³/час

$$\begin{aligned} U_c &= q \cdot \sqrt{\delta_{Q_0}^2 + \delta_e^2 + \delta_{e_H}^2 + \delta_L^2} = \\ &= q \cdot \sqrt{(5,1 \cdot 10^{-2})^2 + (8,3 \cdot 10^{-4})^2 + (8,3 \cdot 10^{-4})^2 + (9,6 \cdot 10^{-5})^2} = \\ &= q \cdot 5,1 \cdot 10^{-2} \text{ (не более)} \end{aligned} \quad (42)$$

$$U_c(q) = 5,1 \cdot 10^{-2} \cdot q \text{ м}^3/\text{час.} \quad (43)$$

2. $Q_0 \sim 4$ м³/час

$$\begin{aligned} U_c &= q \cdot \sqrt{(2,5 \cdot 10^{-2})^2 + (8,3 \cdot 10^{-4})^2 + (8,3 \cdot 10^{-4})^2 + (9,6 \cdot 10^{-5})^2} = \\ &= q \cdot 2,51 \cdot 10^{-2} \end{aligned} \quad (44)$$

$$U_c(q) = 2,51 \cdot 10^{-2} \cdot q \text{ м}^3/\text{час.} \quad (45)$$

Рассчитаем коэффициент покрытия k , для чего найдем v_{eff} в диапазонах

1. $Q_0 \sim 2$ м³/час

$$v_{\text{eff}} = (n-1) \frac{U_c^4}{U_A^4} = 9 \cdot \left(\frac{5,1 \cdot 10^{-2}}{5,46 \cdot 10^{-2}} \right)^4 = 6,8 \cdot 10^4 > 30 \quad (46)$$

$$k_{0,95} = 2,00.$$

2. $Q_0 \sim 4 \text{ м}^3/\text{час}$

$$v_{eff} = (n-1) \frac{U_c^4}{U_A^4} = 9 \cdot \left(\frac{2,51 \cdot 10^{-2}}{9,72 \cdot 10^{-2}} \right)^4 = 4,0 \cdot 10^4 > 30 \quad (47)$$

$k_{0,95} = 2,00$.

Расширенная неопределенность, выраженная в процентах от измеряемой величины, составит

1. $Q_0 \sim 2 \text{ м}^3/\text{час}$

$$U = \frac{2,00 \cdot 5,1 \cdot 10^{-2} \cdot q}{q} \cdot 100\% = 10,0\% . \quad (48)$$

2. $Q_0 \sim 4 \text{ м}^3/\text{час}$

$$U = \frac{2,00 \cdot 2,51 \cdot 10^{-2} \cdot q}{q} \cdot 100\% = 5,0\% . \quad (49)$$

При измерении ротаметром РМ-4 ГУЗ утечки изменяются в диапазоне $q = (0,185 \div 0,370) \text{ дм}^3/(\text{с} \cdot \text{м})$ и расширенная неопределенность измерения составит на нижнем пределе 10,0 %, а на верхнем – 5,0 % от измеряемой величины.

Аналогично рассчитаем неопределенность измерения утечек воздуха гибких шахтных вентиляционных труб при измерении *сужающим устройством (диафрагмой)*. Диапазон измерения составляет от 22 м³/час до 320 м³/час.

Обратный расчет сужающего устройства, произведенный на основании РД 50-213-80 «Правила измерения расходов газов и жидкостей стандартным сужающим устройством» [3], дает неопределенность измерения не более 1,4 % во всем диапазоне расхода воздуха, то есть неопределенность измерения типа В во всем диапазоне измерения составляет

$$\delta_{Q_{0g}} = 1,4 \cdot 10^{-2}, \text{ доли единицы.} \quad (50)$$

(смотри «Обратный расчет № 418 сужающего устройства. Измерительная среда – воздух», 1989, произведен Донецким центром метрологии и стандартизации).

Результаты измерения расхода воздуха приведены в табл. 6.

Таблица 6

Результаты измерения расхода воздуха сужающим устройством
в трубе гибкой шахтной

№ п/п	Расход, Q_0 , м ³ /час	P , мм. рт. ст
1	88,82	44
2	90,82	46
3	90,82	46
4	90,82	46
5	90,82	46
6	90,82	46
7	90,82	46
8	90,82	46
9	90,82	46
10	90,82	46
среднее	90,62	45,8

Неопределенность измерения расхода воздуха при использовании сужающего устройства по типу А в диапазоне 22 м³/час ÷ 320 м³/час согласно проведенным испытаниям на трубах составит

$$Q_0 \approx 22 \text{ м}^3/\text{час},$$

$$Q_0 \approx 320 \text{ м}^3/\text{час},$$

$$U_A = 0,200 \text{ м}^3/\text{час},$$

$$U_A = 0,200 \text{ м}^3/\text{час}.$$

Тогда

$$Q_0 \approx 22 \text{ м}^3/\text{час},$$

$$Q_0 \approx 320 \text{ м}^3/\text{час},$$

$$\delta_A = \frac{0,2}{22} = 9,1 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{час},$$

$$\delta_A = \frac{0,2}{320} = 6,25 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{час}.$$

Расчет произведен для результата из 10 повторных испытаний.

$$\sigma_{n-1} = \sqrt{\frac{(x - \bar{x})^2}{n-1}} = 0,6325 \text{ м}^3/\text{час}. \quad (51)$$

Для результата из 10 повторных измерений

$$U_A = r \frac{n-1}{\sqrt{10}} = \sqrt{\frac{(x-\bar{x})^2}{n-1}} = 0,200 \text{ м}^3/\text{час}. \quad (52)$$

Тогда для δ_{Q_0} по типу А найдем

$$\text{при } Q_0 \approx 22 \text{ м}^3/\text{час} \quad \delta_{Q_0} = \frac{0,200}{22} = 9,1 \cdot 10^{-2} \text{ доли единицы}, \quad (53)$$

$$\text{при } Q_0 \approx 320 \text{ м}^3/\text{час} \quad \delta_{Q_0} = \frac{0,200}{320} = 6,25 \cdot 10^{-2} \text{ доли единицы}. \quad (54)$$

Рассчитаем неопределенность измерения расхода воздуха при использовании сужающего устройства по типу В.

1. $Q_0 \approx 22 \text{ м}^3/\text{час}$

$$\delta_{Q_0} = \sqrt{\delta_A^2 + \delta_B^2} = \sqrt{(9,1 \cdot 10^{-3})^2 + (1,4 \cdot 10^{-2})^2} = 1,67 \cdot 10^{-2} \text{ доли ед.} \quad (55)$$

2. $Q_0 \approx 320 \text{ м}^3/\text{час}$

$$\delta_{Q_0} = \sqrt{\delta_A^2 + \delta_B^2} = \sqrt{(6,25 \cdot 10^{-4})^2 + (1,4 \cdot 10^{-2})^2} = 1,4 \cdot 10^{-2} \text{ доли ед.} \quad (56)$$

Суммарная стандартная неопределенность измерения утечек воздуха, измеренных сужающим устройством, составит

1. $Q_0 \approx 22 \text{ м}^3/\text{час}$

$$\begin{aligned} U_c &= q \cdot \sqrt{\delta_{Q_0}^2 + \delta_\rho^2 + \delta_{\rho_n}^2 + \delta_L^2} = \\ &= q \cdot \sqrt{(1,67 \cdot 10^{-2})^2 + (8,3 \cdot 10^{-4})^2 + (8,3 \cdot 10^{-4})^2 + (9,6 \cdot 10^{-5})^2} = \quad (57) \\ &= q \cdot 1,67 \cdot 10^{-2} \end{aligned}$$

$$U_c(q) = 1,67 \cdot 10^{-2} \cdot q \text{ м}^3/\text{час}. \quad (58)$$

2. $Q_0 \approx 320 \text{ м}^3/\text{час}$

$$U_c = q \cdot \sqrt{(1,4 \cdot 10^{-2})^2 + (8,3 \cdot 10^{-4})^2 + (8,3 \cdot 10^{-4})^2 + (9,6 \cdot 10^{-5})^2} = \quad (59)$$

$$= q \cdot 1,40 \cdot 10^{-2}$$

$$U_c(q) = 1,40 \cdot 10^{-2} \cdot q \text{ м}^3/\text{час}. \quad (60)$$

Рассчитаем коэффициент покрытия k , для чего найдем v_{eff} в диапазонах

1. $Q_0 \approx 22 \text{ м}^3/\text{час}$

$$v_{eff} = (n-1) \frac{U_c^4}{U_A^4} = 9 \cdot \left(\frac{1,67 \cdot 10^{-2}}{9,1 \cdot 10^{-2}} \right)^4 = 102 > 30 \quad (61)$$

$$k_{0,95} = 2,00.$$

2. $Q_0 \approx 320 \text{ м}^3/\text{час}$

$$v_{eff} = (n-1) \frac{U_c^4}{U_A^4} = 9 \cdot \left(\frac{1,4 \cdot 10^{-2}}{6,25 \cdot 10^{-2}} \right)^4 = 2,3 \cdot 10^6 > 30 \quad (62)$$

$$k_{0,95} = 2,00.$$

Расширенная неопределенность, выраженная в процентах от измеряемой величины, составит

1. $Q_0 \approx 22 \text{ м}^3/\text{час}$

$$U = \frac{2,00 \cdot 1,67 \cdot 10^{-2} \cdot q}{q} \cdot 100\% = 3,34\% < 3,4\%, \quad (63)$$

2. $Q_0 \approx 320 \text{ м}^3/\text{час}$

$$U = \frac{2,00 \cdot 1,4 \cdot 10^{-2} \cdot q}{q} \cdot 100\% = 2,8\%. \quad (64)$$

При измерении Q_0 ($\text{м}^3/\text{час}$) сужающим устройством утечки изменяются в диапазоне $q = (2,0 \div 29,6) \text{ дм}^3/(\text{с} \cdot \text{м})$ и расширенная неопределенность измерения утечек воздуха гибких шахтных вентиляционных труб не превышает 3,4 % от измеряемой величины.

ВЫВОДЫ

Расчет неопределенности измерения воздухопроницаемости позволил установить неопределенность измерения воздухопроницаемости гибких шахтных вентиляционных труб, который не превышает $\pm 10\%$ [1], что обеспечивает достаточную точность определения воздухопроницаемости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Труби вентиляційні гнучкі шахтні й фасонні частини до них. Загальні вимоги: СОУ 10.1-00174088.002:2005. – Вид. офіц. – К.: Мінвуглепром України, 2005. – 33 с. – (Нормативний документ Мінвуглепрому України).
2. Методики выполнения измерений. Основные положения: ГОСТ 8.010-99. [Введен 2002-05-01.]. – К.: Госстандарт Украины, 2002. – 15 с. – (Межгосударственный стандарт).
3. Правила измерения расхода газов и жидкостей стандартными сужающими устройствами: РД 50-213-80. [Введен 1982-07-01.]. – М.: Гос. комитет СССР по стандартам, 1980. – 319 с. – (Руководящий нормативный документ Госкомитета СССР по стандартам).

Получено: 20.05.2013

Наведено результати розрахунку невизначеності вимірювання повітропроникності гнучких шахтних вентиляційних труб залежно від використання різних вимірювальних приладів.

Ключові слова: гнучкі шахтні вентиляційні труби, результати вимірювань, невизначеність вимірювань, повітропроникність.

The results of calculation of vagueness of measuring of ventileness of flexible mine ventiducts are resulted depending on the use of different measurings devices.

Keywords: flexible mine ventiducts, results of measurings, measuring vagueness, ventileness.