

Воздушная среда производственных помещений должна соответствовать санитарно-гигиеническим нормативам, которые обуславливают сохранение здоровья работающих и отвечают требованиям проводимого в них технологического процесса. Безопасность персонала, занятого на промышленных предприятиях, в значительной мере обеспечивается за счет поддержания нормируемых параметров воздушной среды средствами вентиляции. Для перемещения по вентиляционной сети требуемого расхода воздуха вентиляторы совершают определенную работу, поддерживая давление, необходимое для преодоления ее сопротивления. В общем случае для вентиляционной сети имеется взаимосвязь: $P = R \cdot L^n$, (1) где P – полное давление, которое необходимо для перемещения воздуха в сети, Па; L – расход воздуха, м³/с; n – показатель степени, значение которого зависит от режима движения воздуха (при турбулентном режиме $n = 2$, при ламинарном режиме $n = 1$); R – аэродинамическое сопротивление вентиляционной сети. В многочисленных работах по рудничной вентиляции, рассматривающих горные выработки, где в основном отмечается турбулентный режим движения воздуха, при отсутствии гидростатических составляющих давления уравнение (1) представляют в виде: $P = R \cdot L^2$. (2) При этом величина R однозначно определяется как аэродинамическое сопротивление соответствующего участка горной выработки или шахты в целом [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10]. Ее размерность, как это следует из уравнения (2): (3) а если давление измеряют в кг/м² (мм вод. ст.), а расход воздуха – в м³/с, то размерность аэродинамического сопротивления: $[R] = \text{кг} \cdot \text{с}^2/\text{м}^3$. (4) Если давление измеряют в единицах системы СИ (Па), то размерность аэродинамического сопротивления: $[R] = \text{Па} \cdot \text{с}^2/\text{м}^6 = \text{Н} \cdot \text{с}^2/\text{м}^6$. (5) Из сравнения (4) и (5) следует, что: $1 \text{ кг} \cdot \text{с}^2/\text{м}^3 = 9,81 \text{ Па} \cdot \text{с}^2/\text{м}^6$. К сожалению, в литературе по промышленной вентиляции отсутствует четкое и единое определение аэродинамического сопротивления вентиляционных каналов. Различные авторы трактуют его весьма разнообразно. Так, авторы работы [11, с. 75] пишут: «Аэродинамическое сопротивление ΔP участка или элемента вентиляционной сети определяется как разница полных давлений в начале (P_1) и конце (P_2) участка: $\Delta P = P_1 - P_2$ ». В работе [12, с. 119] утверждается следующее: «Сопротивление модели сети – разность абсолютных давлений в камере и атмосферного, т. е. сопротивление модели равно измеренному в камере избыточному давлению». М. Д. Сидоров пишет: «Подача вентилятором воздуха в сеть определяется ее сопротивлением, равным давлению, развиваемому вентилятором». Эти утверждения являются ошибочными, т. к. аэродинамическое сопротивление вентиляционной сети или ее отдельного участка и величина полного давления, необходимого для преодоления этого сопротивления, есть совершенно разные по своей природе физические величины, а размерность аэродинамического сопротивления отличается от размерности давления, и даже косвенная его характеристика по величине падения давления на нем не может однозначно определять величину R , т. к. при этом необходимо указывать еще и расход воздуха. В работах уравнение (2) представляется в виде: $P = k \cdot L^2$, (6) где k – коэффициент, который в цитируемых работах несет разные смысловые нагрузки. Так, по данным работы k – это коэффициент сопротивления сети или отдельных элементов, может быть представлен как сопротивление при перемещении объема в 1 м³/ч и измеряется в единицах давления. В соответствии с работой k – это коэффициент, зависящий от конфигурации сети и параметров перемещаемого газа. М. П. Калинушкин утверждает, что коэффициент k зависит главным образом от геометрических размеров сети. По данным работы коэффициент k – постоянный для данной сети коэффициент. В

работе отмечается, что k – это коэффициент, характеризующий способность сети оказывать сопротивление проходящему по ней воздуху. В соответствии с работой k : – это коэффициент пропорциональности, характеризующий гидравлическое сопротивление потоку, оказываемое сетью, и зависящий от формы участков сети, состояния их поверхностей, плотности и вязкости газа, а также числа Re . СЕ. Бутаков отмечает, что «коэффициент k назван характеристикой сопротивляемости трубы или просто характеристикой». В работе [21] аналогичный коэффициент, обозначенный через a , расшифрован как «корреляционный коэффициент». Такой разницей в трактовке одной и той же величины аэродинамического сопротивления вентиляционной сети указывает на отсутствие точной терминологии и свидетельствует о целесообразности корректировки ее в печатных изданиях. Одним из элементов вентиляционной сети является фильтрующее устройство. Оно обычно имеет большую поверхность фильтрации, поэтому скорости просачивания воздуха через фильтрующий элемент оказываются малыми и при движении воздуха через фильтр преобладает ламинарный режим. В соответствии с уравнением (1) $n = 1$ и величина аэродинамического сопротивления фильтра $R_{\text{ф}}$ определяется по данным инструментальных замеров падения давления на фильтре ΔP и расхода воздуха через него L : $R_{\text{ф}} = \Delta P / L$. (7) Размерность $R_{\text{ф}}$, как это следует из выражения (7), – $\text{Па} \cdot \text{с}/\text{м}^3$. К сожалению, в технической литературе по фильтрующим устройствам [22,23,24,25, 26,27] и даже в справочниках [13, 28, 29, 30] и учебниках [14, 31] аэродинамическое сопротивление фильтров также оценивают в единицах давления, что допустимо только для частного случая – при заданных L и ΔP для установления допустимых значений второго при известном первом. С учетом особенностей геометрии каналов фильтра в общем случае падение давления на нем можно представить в виде суммы: $R_{\text{ф}} = R_1 \cdot L + R_2 \cdot L^2$, (8) где R_1 и R_2 – соответственно линейная и квадратичная составляющие аэродинамического сопротивления фильтра. Полученное уравнение (8) может использоваться и в других элементах вентиляционной сети для оценки их аэродинамического сопротивления, если режим движения воздуха не соответствует строго ламинарному или турбулентному. Запишем далее уравнение (8) в следующем виде: $\Delta P = R_1 \cdot L + R_2 \cdot L^2 = R_2 \cdot L^2 \cdot (1 + R_1/R_2 \cdot 1/L) = R_2 \cdot L^2 \cdot (1 + \xi/L)$ (9) Оценим возможность применения квадратичного закона сопротивления, допуская погрешность оценки ΔP не более 5%. Тогда второе слагаемое в скобках правой части уравнения (9) не должно превышать 0,05. По номограмме (рис.1) этому условию будут соответствовать следующие значения расходов воздуха: $L > 2 \text{ м}^3/\text{с}$ при $\xi = 0,1$; $L > 20 \text{ м}^3/\text{с}$ при $\xi = 1$; $L > 200 \text{ м}^3/\text{с}$ при $\xi = 10$; То есть с уменьшением соотношения линейной и квадратичной составляющих аэродинамического сопротивления область возможной аппроксимации закона сопротивления квадратичным выражением расширяется. Аналогичные выкладки для линейного закона сопротивления дают выражение: $\Delta P = R_1 \cdot L + R_2 \cdot L = R_1 \cdot L \cdot (1 + R_2/R_1 \cdot L) = R_1 \cdot L \cdot (1 + \eta \cdot L)$ (10) Применение линейного закона сопротивления (с погрешностью оценки ΔP не более 5%) возможно в диапазоне расходов воздуха: $L > 0,005 \text{ м}^3/\text{с}$ при $\eta = 10$; $L > 0,05 \text{ м}^3/\text{с}$ при $\eta = 1$; $L > 0,5 \text{ м}^3/\text{с}$ при $\eta = 0,1$; То есть с уменьшением соотношения квадратичной и линейной составляющих аэродинамического сопротивления расширяется область возможной аппроксимации закона сопротивления линейным выражением. Выводы 1. Аэродинамическое сопротивление вентиляционной сети или ее отдельного элемента – это физическая величина, которая может быть определена расчетным путем на основе известных данных о геометрических размерах

вентиляционного сооружения, коэффициенте сопротивления трения и режиме движения воздуха. 2. Характеризовать аэродинамическое сопротивление вентиляционной сети или ее отдельного элемента по величине падения давления на его преодоление правомерно только в частных случаях, при обязательном фиксировании расхода воздуха через рассматриваемое сопротивление. 3. Если в вентиляционной сети в целом или на отдельных ее участках имеет место промежуточный режим движения воздуха (1