

А.А. Тесленко, А.А. Калашников

(Национальный университет гражданской защиты Украины, г. Харьков,
ООО "Экспертный центр техносферной безопасности", г. Москва; e-mail: teslenko@list.ru)

ВЛИЯНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ВОЗДУХА НА НАДЁЖНОСТЬ ОГНЕПРЕГРАДИТЕЛЯ

Проведён анализ влияния непостоянства химического состава воздуха на надёжность огнепреградителя.

Ключевые слова: избыточное давление, огнепреградитель, авария, чрезвычайная ситуация.

А.А. Teslenko, A.A. Kalashnikov

INFLUENCE OF CHEMICAL COMPOSITION OF AIR ON RELIABILITY OF FLAME ARRESTER

Analysis of influence of inconstancy of chemical composition of air on reliability of flame arrester.

Key words: overpressure, flame arrester, accident, emergency.

Статья поступила в редакцию Интернет-журнала 22 ноября 2013 г.

В качестве математической модели огнепреградителя взята расчётная схема Я.Б. Зельдовича [1-3]. Влияние химического состава воздуха на параметры огнепреградителя в этой схеме учитывается посредством зависимости среднего молекулярного веса воздуха от его химического состава. Из уравнения Менделеева-Клапейрона следует, что средний молекулярный вес воздуха (M) зависит от его плотности, температуры и давления. Если плотность воздуха ρ при нормальных условиях (температура $t = 0$ °С (273 °К), атмосферное давление $P = 101\,325$ Па) равна $1,29$ кг/м³, то

$$\begin{aligned} M = \rho \frac{RT}{P} &= 1,29 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \frac{8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot 273 \text{ К}}{101325 \text{ Па}} = \\ &= 0,029 \text{ кг/моль} = 29 \text{ г/моль}. \end{aligned} \quad (1)$$

Средний молекулярный вес воздуха через его составляющие можно выразить так:

$$M = \frac{1}{\sum_i \frac{q_i}{M_i}}, \quad (2)$$

где q_i – массовые доли i -го вещества,
 M_i – молекулярная масса i -го вещества.

Через объёмные доли средний молекулярный вес выражается

$$M = \sum_i \varphi_i M_i \quad (3)$$

где φ_i – объёмные доли i -го газа.

Принято, что средний молекулярный вес равен 28,98 г/моль. Есть медицинские данные о суточном, сезонном и пространственном колебаниях количества кислорода в воздухе [4]. Уже они показывают, что плотность воздуха может меняться на 10 %. Воздух всегда содержит пары воды. Так, при температуре 0 °С 1 м³ воздуха может вмещать максимально 5 г воды, а при температуре +10°С – уже 10 г. Состав воздуха может меняться: в крупных городах содержание углекислого газа будет выше, чем в лесах; в горах пониженное содержание кислорода вследствие того, что кислород тяжелее азота и поэтому его плотность с высотой уменьшается быстрее. В различных частях земли состав воздуха может варьироваться в пределах 1-3 % для каждого газа.

Огнепреградители могут устанавливаться в местах с повышенной загазованностью или загазованность вероятна во время предшествующей аварии. Либо загазованность может быть в месте забора воздуха в производственное оборудование, в котором установлены огнепреградители. Молекулярная масса в таких случаях может изменяться в широких пределах. Исследуем влияние среднего молекулярного веса на работу огнепреградителя.

Рассмотрим, как будет меняться критический диаметр канала с изменением среднего молекулярного веса воздуха. Первое, определим общую тенденцию зависимости критического диаметра каналов огнепреградителя от среднего молекулярного веса воздуха (рис. 1).

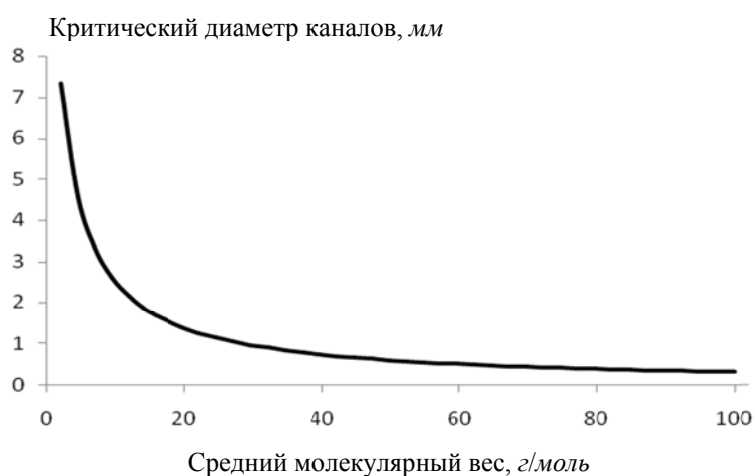


Рис. 1.

Вблизи среднего значения, определённого формулой (1), зависимость практически линейная (рис. 2).

Таким образом, существует зависимость критического диаметра каналов огнепреградителя от среднего молекулярного веса воздуха. Эта зависимость близка к линейной в диапазоне возможных изменений среднего молекулярного веса воздуха.

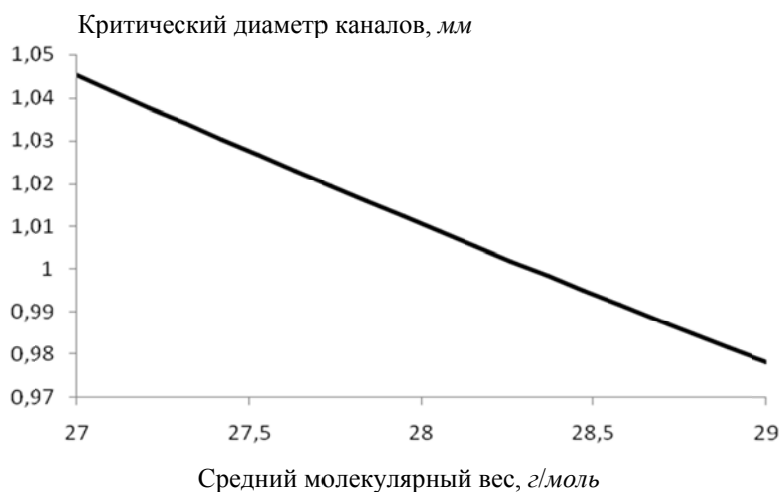


Рис. 2.

Определим доверительные интервалы, соответствующие возможным изменениям среднего молекулярного веса воздуха. Оценить возможные его изменения в конкретном месте, конкретного предприятия очень тяжело. Тем более, что речь идёт непосредственно об оценке в момент, предшествующий аварии. В такой момент, вероятно, нарушено нормальное функционирование оборудования. Вероятна загазованность, то есть изменение состава воздуха и, как следствие, его среднего молекулярного веса. В этих условиях можно сделать лишь допущения о погрешностях. В качестве допущения предположим, что вероятность отклонения среднего молекулярного веса воздуха от значения $28,98 \text{ г/моль}$ подчиняется нормальному закону со среднеквадратическим отклонением, равным 10 % его средней величины, то есть $2,898 \text{ г/моль}$. В этом случае дисперсия в критическом диаметре каналов равняется $0,00293 \text{ мм}^2$. Последняя, пятая цифра после запятой, приобретает стабильное значение, равное 3, при объёме статистики более 2650. Значение 2650 является граничным (если изменять статистику через 50), после которого значение 3 не изменяется с дальнейшим увеличением объёма статистики. Среднеквадратическое отклонение равно $0,05416 \text{ мм}$. Этому отклонению соответствует доверительный интервал 95,4 % – $[0,701012; 0,917663]$, в предположении, что закон распределения нормальный.

Рассмотрим, как будет меняться критический диаметр каналов с 99,7 % верхним и нижним интервалом, и среднеквадратическим отклонением по среднему молекулярному весу воздуха с изменением различных параметров огнепреградителя. Конкретно, для каждого постоянного значения параметра, зависимость от которого исследуется (например, критического значения критерия Пекле), найдём среднее, дисперсию и доверительные интервалы на Гауссовской статистике объёмом 400, где случайной величиной является только средний молекулярный вес воздуха (среднее $28,98 \text{ г/моль}$, дисперсия $2,898$).

Построим зависимости полученных значений от исследуемой величины (критического значения критерия Пекле). Критический диаметр каналов убывает линейно с уменьшением критического значения критерия Пекле (рис. 3).

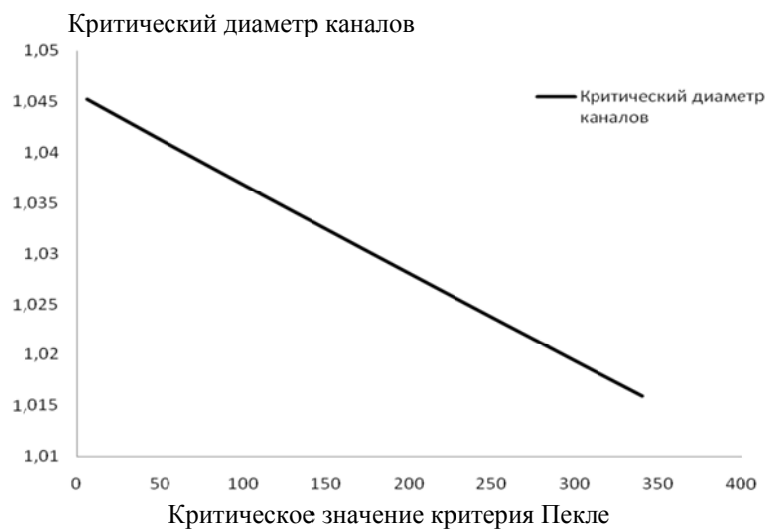


Рис. 3.

Тенденции в изменении верхнего и нижнего доверительных интервалов с изменением критического значения критерия Пекле представлены на рис. 4.

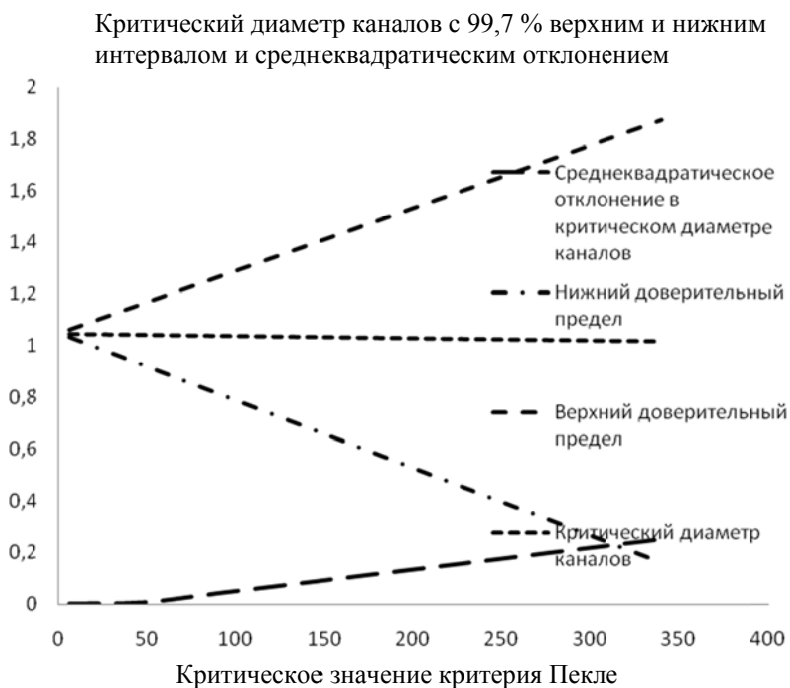


Рис. 4.

Таким образом, показано, что критический диаметр каналов огнепреградителя изменяется с изменением среднего молекулярного веса воздуха. Неопределенность в молекулярном весе приводит к ошибке в критическом диаметре. В предположении нормального закона в распределении критического диаметра в указанных условиях, доверительные интервалы для критического диаметра указаны в таблице и графике выше. Возможные отклонения в среднем молекулярном весе от предполагаемого в алгоритме приводят к указанной выше дисперсии в критическом диаметре. Определено, что необходимый объем статистики – 2650 опытов.

Литература

1. *Тесленко А.А., Бугаёв А.Ю., Погребняк Б.И.* Защита производственных коммуникаций // Научно-технический сборник "Коммунальное хозяйство городов". № 99. Харьков: ХНАГХ, 2011. С. 157-160.
2. *Алексеев М.В., Волков О.М., Шатров Н.Ф.* Пожарная профилактика технологических процессов производств. М.: ВИПТШ МВД СССР, 1986. С. 111-119.
3. *ГОСТ 12.2.85-2002.* Сосуды, работающие под давлением. Клапаны предохранительные. Требования безопасности.
4. *Чандлер Т.* Воздух вокруг нас. Л.: Гидрометеиздат, 1974. 144 с.