

А.Ю. Бугаёв, преподаватель, НУГЗУ

**ВЫБОР КРИТИЧЕСКОГО ДИАМЕТРА
ОГНЕГАСЯЩЕЙ НАСАДКИ ОГНЕПРЕГРАДИТЕЛЯ С
МИНИМАЛЬНО ДОПУСТИМЫМ ГИДРАВЛИЧЕСКИМ
СОПРОТИВЛЕНИЕМ ПРИ ВОЗМОЖНОМ ИЗМЕНЕНИИ
МОЛЕКУЛЯРНОГО ВЕСА ВОЗДУХА**

(представлено д-ром техн. наук Куценко Л.Н.)

Рассмотрено влияние изменения молекулярного веса воздуха на размер критического диаметра огнепреграждающего канала огнепреградителя с последующей возможностью уменьшения его гидравлического сопротивления.

Ключевые слова: производственная безопасность, защита производственного оборудования, огнепреграждающий канал, критический диаметр, гидравлическое сопротивление, огнепреградитель, молекулярный вес воздуха.

Постановка проблемы. Согласно ГОСТ 12.3.002.-75 [1] безопасность производственных процессов достигается упреждением опасной аварийной ситуации и в течении всего времени их функционирования должна быть обеспечена применением надежно действующих и регулярно проверяемых устройств противоаварийной защиты с применением электронно-вычислительной техники.

Одним из направлений противоаварийной защиты промышленных объектов является применение устройств, обеспечивающих ограничение распространение пламени за пределы данного производственного оборудования. Такими устройствами являются сухие огнепреградители используемые на технологических системах предприятий, свободно пропускающие горючую среду через пламегасящую насадку и одновременно препятствующие распространению пламени по производственным коммуникациям. Защитное действие огнепреградителя основано на явлении гашения пламени в узких каналах.

Уменьшение диаметра канала, в котором происходит горение газовой смеси, ведет не только к увеличению удельных теплотерь в сравнении с тепловыделениями, приходящимися на объем горячей смеси, понижению температуры горения в зоне реакции, снижению скорости реакции и уменьшению скорости распространения пламени, но и к увеличению гидравлического сопротивления защитного устройства. Одновременно с увеличением гидравлического сопротивление огнепреградителя, происходит увеличению технологического давления в производственных коммуникациях, что ведет за собой не только к монтажу дополнительного защитного оборудования, но и к повышению вероятности возникновения аварийной ситуации.

Анализ последних достижений и публикаций. Исходя из выше изложенного можно сделать вывод, что основным расчётным показателем огнепреградителя является его критический диаметр [2]

$$d_{кр} = \frac{Pe_{кр} \lambda R T}{u_n c_p \rho}, \quad (1)$$

где $Pe_{кр}$ – критерий Пекле равный 65; λ – коэффициент теплопроводности горючей смеси; R – искомая газовая постоянная выходной горючей смеси; T – температура горючей смеси; u_n – нормальная скорость распространения пламени; c_p – теплоёмкость горючей смеси; ρ – плотность горючей смеси.

В теоретических работах Я.Б. Зельдовича показано что на пределе распространения пламени в трубках малого диаметра достигается постоянство числа Пекле [3]

$$Pe_{кр} = \frac{u_n d_{кр}}{a}, \quad (2)$$

где a – коэффициент температуропроводности.

Численное значение критерия Пекле с учетом различных допущений на пределе гашения пламени равно 65 [4]. Число Пекле сильно для различных горючих смесей не отличается, но в тоже время величина Пекле не может быть постоянной для всех газовых смесей в работе [5] приводится $Pe_{кр} = 46$. Поэтому, учитывая экспериментальные данные, показывающие некий разброс в определении критерия Пекле, при расчетах принимают двойной коэффициент запаса надежности, уменьшающий критерий Пекле в два раза, что уменьшает критический диаметр и увеличивает не только огнегасящую способность огнепреградителя, но и его гидравлическое сопротивление. Зависимость критического диаметра от числа Пекле линейная, показывающая, что чем меньше число Пекле тем меньше критический диаметр и меньшая вероятность проскока пламени через огнепреградитель (рис. 1).

Из приведенной формулы (1) видно, что число Пекле зависит от семи переменных одна из которых искомая газовая постоянная зависящая от молярной массы воздуха

$$R = \frac{8314,31}{\varphi_i M_i + (1 - \varphi_i) M_k}, \quad (3)$$

где φ_i – концентрация горючего компонента в выходной смеси стехиометрического состава; M_i – молярный вес горючего компонента; M_k – молярный вес кислорода равный 28,98 г/моль.

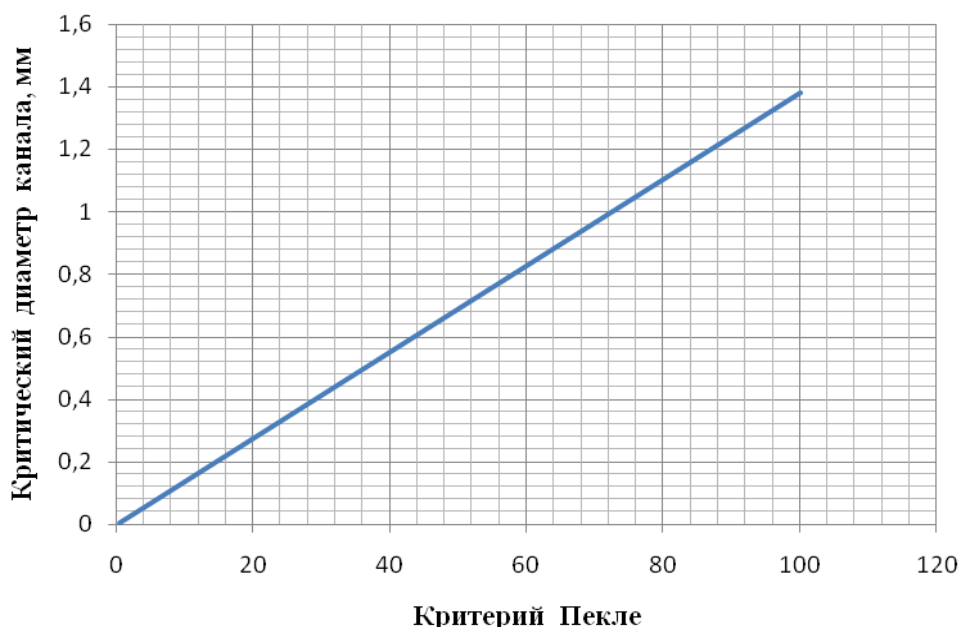


Рис. 1. Зависимость критического диаметра огнегасящего канала огнепреградителя от критерия Пекле

Из уравнения Менделеева-Клапейрона следует, что средний молекулярный вес воздуха зависит от плотности воздуха, температуры и давления. Если плотность воздуха ρ при нормальных условиях – температура $t = 0^{\circ}\text{C}$ (273 К) и атмосферное давление $P = 101\,325$ Па) равна $1,29$ кг/м³, то

$$M = \rho \frac{RT}{P} = 1,29 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \frac{8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot 273^{\circ}\text{K}}{101325 \text{Па}} = 28,98 \frac{\text{г}}{\text{моль}}. \quad (4)$$

Принято, что средний молекулярный вес воздуха равен 28,98 г/моль. Состав воздуха не является неизменным, в нем содержатся различные газовые примеси и пары воды, содержание которых в зависимости от температуры могут колебаться. Так, при температуре 0°C 1 м³ воздуха может вмещать максимально 5 граммов воды, а при температуре $+10^{\circ}\text{C}$ – уже 10 граммов. Есть медицинские данные о суточном, сезонном и пространственном колебании количества кислорода в воздухе [6], они показывают, что плотность воздуха, может меняться на десять процентов. В различных частях земли состав воздуха может варьироваться в пределах 1-3 % для каждого газа. Исследуем влияние среднего молекулярного веса на критический диаметр и гидравлическое сопротивление огнепреградителя.

Постановка задачи и ее решение. Зависимость критического диаметра огнепреградителя от среднего молекулярного веса воздуха показывает, что с увеличением молекулярного веса воздуха происходит уменьшение критического диаметра. При этом вблизи среднего значения равного определяемого формулой (4) практически линейная (рис. 2).

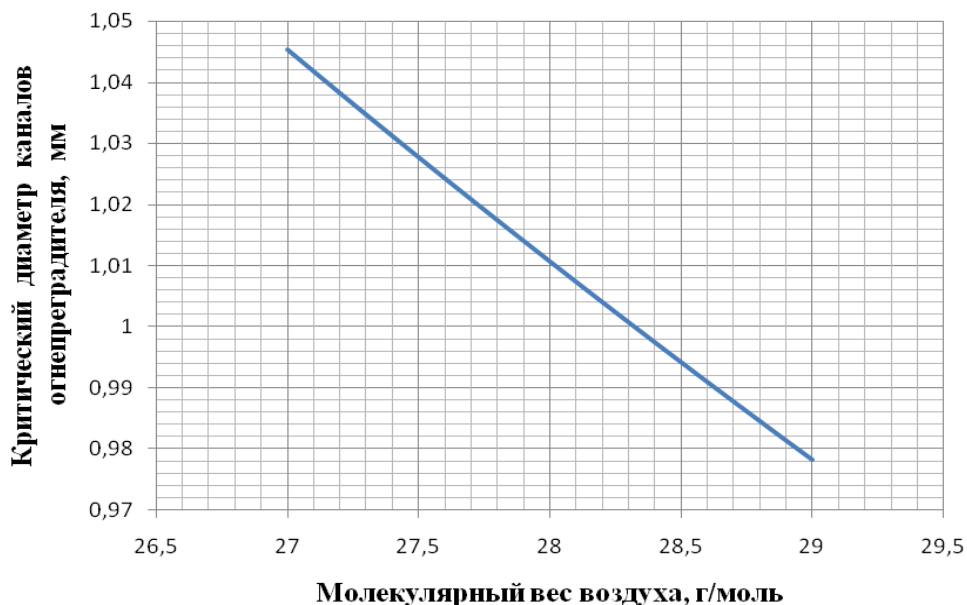


Рис. 2. Зависимость критического диаметра канала огнепреградителя от изменения среднего молекулярного веса воздуха

Аргумент	Функция
Pe = 0.4, 100;	Критический диаметр каналов
0,4	7,84E-08
5,642105263	1,56E-05
10,88421053	5,80E-05
16,12631579	0,000127402
21,36842105	0,000223693
26,61052632	0,000346907
31,85263158	0,000497047
37,09473684	0,000674111
42,33684211	0,000878099
47,57894737	0,001109012
52,82105263	0,001366849
58,06315789	0,001651611
63,30526316	0,001963298
68,54736842	0,002301909
73,78947368	0,002667444
79,03157895	0,003059905
84,27368421	0,003479289
89,51578947	0,003925598
94,75789474	0,004398832
100	0,00489899

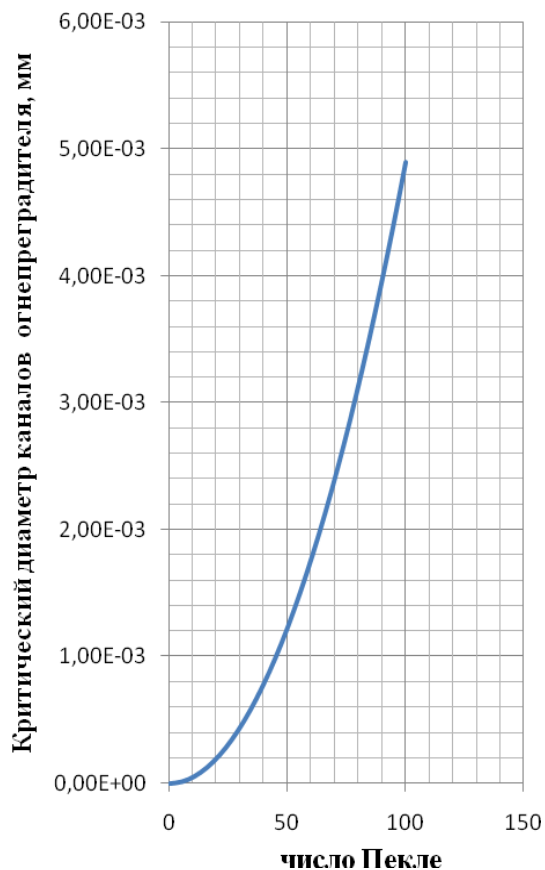


Рис. 3. Зависимость дисперсии критического диаметра канала огнепреградителя от значения Пекле при изменении молекулярного веса воздуха в области 10%

Предположив, что вероятность отклонения среднего молекулярного веса воздуха от значения 28,98 г/моль подчиняется нормальному закону

Выбор критического диаметра огнегасящей насадки огнепреградителя с минимально допустимым гидравлическим сопротивлением при возможном изменении молекулярного веса воздуха 49

распределения со среднеквадратическим отклонением равным 10% его средней величины, т.е. 2,898 г/моль, определим зависимости критического диаметра от числа Пекле при изменении молекулярного веса воздуха и для каждого конкретного значения найдем дисперсию (рис. 3.), среднее и доверительные интервалы (табл. 1.) по Гауссовской статистике объемом 350, случайной величиной является средний молекулярный вес воздуха.

Таким образом, определив верхнюю и нижнюю доверительные границы, получаем возможность выбора одного из нескольких возможных критических диаметров огнепреградителя, в зависимости от технических требований конкретного предприятия (табл. 1).

Табл. 1. Зависимость критического канала огнепреградителя от критерия Пекле при 10% изменении молекулярно веса кислорода

Зависимость доверительных границ критического канала огнепреградителя от числа Пекле при интервале изменения молярного веса воздуха 10%.					
Аргумент.	Функция.				
Критерий Пекле (Pe).	Критический диаметр Каналов (мм).	Нижняя доверительная граница	Верхняя доверительная граница	Дисперсия	Среднее квадратическое отклонение
0,4	0,005525054	0,00468514	0,00636497	7,84E-08	0,000279971
5,642105263	0,077932336	0,066085136	0,08977954	1,56E-05	0,003949067
10,88421053	0,150339618	0,127485132	0,1731941	5,80E-05	0,007618162
16,12631579	0,222746901	0,188885128	0,25660867	1,27E-04	0,011287258
21,36842105	0,295154183	0,250285123	0,34002324	2,24E-04	0,014956353
26,61052632	0,367561465	0,311685119	0,42343781	3,47E-04	0,018625449
31,85263158	0,439968748	0,373085115	0,50685238	4,97E-04	0,022294544
37,09473684	0,51237603	0,434485111	0,59026695	6,74E-04	0,02596364
42,33684211	0,584783312	0,495885107	0,67368152	8,78E-04	0,029632735
47,57894737	0,657190595	0,557285102	0,75709609	1,11E-03	0,033301831
52,82105263	0,729597877	0,618685098	0,84051066	1,37E-03	0,036970926
58,06315789	0,802005159	0,680085094	0,92392523	1,65E-03	0,040640022
63,30526316	0,874412442	0,74148509	1,00733979	1,96E-03	0,044309117
68,54736842	0,946819724	0,802885085	1,09075436	2,30E-03	0,047978213
73,78947368	1,019227006	0,864285081	1,17416893	2,67E-03	0,051647308
79,03157895	1,091634289	0,925685077	1,2575835	3,06E-03	0,055316404
84,27368421	1,164041571	0,987085073	1,34099807	3,48E-03	0,058985499
89,51578947	1,236448853	1,048485069	1,42441264	3,93E-03	0,062654595
94,75789474	1,308856136	1,109885064	1,50782721	4,40E-03	0,06632369
100	1,381263418	1,17128506	1,59124178	4,90E-03	0,069992786

Выводы. Данная возможность выбора критического диаметра огнепреграждающего канала предполагает такое совмещение независимых друг от друга и взаимопротиворечащих понятий как огнегасящая и пропускная способности огнепреградителя, учитывая тот факт, что каждое вышестоящее числовое значение критического диаметра позволя-

ет уменьшать гидравлическое сопротивление, при неизменном значении числа Пекле.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 12.3.002-75. Система стандартов безопасности труда. Процессы производственные. Общие требования безопасности. - Постановление Государственного комитета стандартов Совета Министров СССР от 25 апреля 1975г. №1064 – [Электронный ресурс], http://www.opengost.ru/iso/13_gosty_iso/13100_gost_iso/4761-gost-12.3.002-75-ssbt.-processy-proizvodstvennyye.-obschie-trebovaniya-bezopasnosti.html.
2. Алексеев М.В. Пожарная профилактика технологических процессов производств/ Алексеев. М.В., Волков О.М., Шатров Н.Ф. – М.: // Высшая инженерно-техническая школа МВД СССР. – 1986. – С. 111-119.
3. Зельдович Я.Б. Теория распространения тихого пламени / Я.Б. Зельдович – М.: Журнал экспериментальной и теоретической физики. Изд-во Академии Наук СССР, 1941. - №1. – Т.11. С159-169.
4. Водяник В.И. Взрывозащита технологического оборудования / Водяник В.И – М.: Издательство «Химия», 1991. – 253 с.
5. Стрижевский И.И. Промышленные огнепреградители / И.И. Стрижевский, В.Ф. Заказнов // – М.: Издательство «Химия», 1966. – 142 с.
6. Чандлер Т. Воздух вокруг нас./ Чандлер Т – Л.: Гидрометеиздат, 1974. – 144с.
7. Тесленко А.А. Надежность огнепреградителя и средний молекулярный вес воздуха [текст]/ А.А. Тесленко, А.Ю. Бугаёв, А.Н. Роянов, В.В. Олейник // Проблемы пожарной безопасности. Вып. 34. – Харьков: НУГЗУ, 2013. – С. 156-160. – Режим доступа: <http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfFireSafety/vol34/teslenko.pdf>.

А.Ю. Бугайов

Вибір критичного діаметру вогнегасящої насадки вогнеперепинювача з мінімально допустимим гідравлічним опором, при можливій зміні молекулярної ваги повітря

Розглянута проблема впливу зміни молекулярного ваги повітря на розмір критичного діаметра вогнеперепинювачого каналу вогнеперепинювачів з подальшою можливістю зменшення його гідравлічного опору.

Ключові слова: виробнича безпека, захист виробничого обладнання, вогнеперепинювачий канал, критичний діаметр, гідравлічний опір, вогнеперепинювач, молекулярний вага повітря.

A.Yu. Buhaiov

Choice of critical diameter for extinguishing nozzle of flame arrester with minimal allowable flow resistance in case of possible changes in the molecular weight of the air

It is considered the problem of the changes in the molecular weight of the air influence on the size of the critical diameter of the flame arrester channel, following its capability to reduce its hydraulic resistance.

Keywords: industrial safety, protection of industrial equipment, fire arrester channel, the critical diameter, flow resistance, flame arrester, the molecular weight of air.