

**ВЛИЯНИЕ НЕТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ НОРМАЛЬНОЙ
СКОРОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПЛАМЕНИ НА ВЫБОР
КРИТИЧЕСКОГО ДИАМЕТРА ОГНЕГАСЯЩЕГО КАНАЛА
ОГНЕПРЕГРАДИТЕЛЯ.**

Василий МАТУХНО к.т.н., преп. каф. (ORCID 0000-0002-9713-7710)

Национальный университет гражданской защиты Украины

Андрей БУГАЁВ, нач. курса, (ORCID 0000-0001-8183-7686)

*Учебный центр оперативно-спасательной службы гражданской защиты
ГСЧС Украины*

Для предотвращения распространения пламени из аварийного оборудования в смежные с ним, а также проскока пламени через сбросные и дыхательные клапаны в емкости с горючими веществами необходимо предусматривать устройства огнепреграждения. Конструкция огнепреградителя обеспечивает свободный проход газа через пористую среду, в то же время не допускает проскок пламени в защищаемый объем из аварийного пространства.

Основным расчетным параметром конструкции огнепреградителя является критический диаметр канала огнепреграждающего элемента. Пламягасящую способность следует рассчитывать по каналу максимальных поперечных размеров, поскольку пламя, в первую очередь, пройдет именно по этому каналу.

Поэтому в работе рассмотрено влияние ошибки максимально нормальной скорости распространения пламени на выбор критического диаметра канала огнепреградителя, с сохранением его огнегасящей способности и возможным уменьшением гидравлического сопротивления.

Анализ зависимости критического диаметра огнегасящего канала огнепреградителя от критерия Пекле показал, что с увеличением значения критерия Пекле происходит увеличение значения диаметра огнегасящего канала.

Следует отметить, что ламинарное горение протекает со скоростями, значительно превышающими нормальные скорости распространения пламени, что автоматически приводит к значительному уменьшению критического диаметра огнегасящего канала и возрастанию гидравлического сопротивления огнепреградителя.

Данная возможность выбора критического диаметра огнепреграждающего канала предполагает совмещение независимых друг от друга и взаимопротиворечащих понятий как огнегасящая и пропускная способности огнепреградителя, учитывая тот факт, что каждое вышестоящее числовое значение критического диаметра позволяет уменьшать гидравлическое сопротивление, при неизменном значении числа Пекле.

Ключевые слова: нормальная скорость распространения пламени, ламинарное горение, производственная безопасность, защита технологического и производственного оборудования, огнепреградитель, критический диаметр огнегасящего канала, имитационное моделирование.

1. Вступление

Одним из направлений противоаварийной защиты промышленных объектов является применение устройств, обеспечивающих ограничение распространения 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 сопротивления огнепреградителя, происходит увеличение технологического давления в производственных коммуникациях, что ведет за собой не только к монтажу дополнительного защитного оборудования, но и к повышению вероятности возникновения аварийной ситуации.

2. Анализ литературных источников и постановка проблемы

В литературных источниках [2,8] приводятся расчетные показатели нормальной скорости распространения пламени, рассчитанные в зависимости от исходных данных: диаметра огнегасящего канала, состава парогазовой смеси, абсолютного давления и критического значения Пекле. А.Я. Корольченко [5] приводит данные нормальной скорости распространения пламени для ряда стехиометрических смесей при различных начальных давлениях взрыва. П.Г. Демидов [9] в таблице «Скорости пламени в 10% смеси метана с воздухом» перечисляет различные показатели нормальной скорости распространения пламени для 10% смеси метана с воздухом, значения которых зависят от диаметра трубы, площади фронта пламени и распространения пламени относительно поля тяжести. Приведенные данные скоростей имеют различные значения, в пределах от 26 см/сек, до 29 см/сек.

ГОСТ Р 12.3.047-98 [10] определяет, что наиболее перспективными значениями нормальной скорости распространения пламени, являются значения, полученные экспериментально - расчетным методом оптимизации, позволяющим определять нормальную скорость в бомбе постоянного объема в широком диапазоне температур и давлений. Данный экспериментальный метод

изложен в ГОСТ 12.1.044-89 [3], ГОСТ 12.1.044-89 [4] и в справочнике А.Н. Баратова [11].

При постановке опытов по определению нормальной скорости распространения пламени для стехиометрических смесей [3,4], сходимость метода при доверительной вероятности 95% не должна превышать 10%.

В результате процесса горения парогазовоздушных смесей происходит явление распространения пламени [1]. Пламя распространяется по двум различным механизмам [2]: сравнительно медленном ламинарном горении и очень быстром детонационном горении. Ламинарное горение распространяется путем передачи тепла от слоя к слою, при этом ламинарное горение [2], неосложненное внешними возмущениями (когда отсутствуют конвективные потоки смеси вследствие течения газа или турбулентности), называется нормальным, а скорость перемещения такого пламени по неподвижной смеси вдоль нормали к его поверхности – нормальной скоростью распространения пламени U_H .

Нормальная скорость распространения пламени [3,4] - скорость перемещения фронта пламени относительно несгоревшего газа в направлении, перпендикулярном к его поверхности. Значение нормальной скорости распространения пламени в практической области знаний [3,4,5] применяют в расчетах скорости нарастания взрыва газо- и паровоздушных смесей в закрытом, негерметичном оборудовании и помещениях, критического (гасящего) диаметра канала при разработке и создании огнепреградителей.

Огнепреградители [6] – устройства, имеющие насадку из узких каналов [2,8], выполняют защитную функцию по предотвращению распространения пламени по производственным коммуникациям.

Согласно теории распространения пламени [7], гашение в узких каналах приводит к понижению температуры горения в зоне реакции, сужению концентрационных пределов воспламенения пламени, снижению скорости химической реакции.

В функциональном уравнении (1) [7] показана зависимость критического диаметра огнепреградителя от некоторых величин, одной из которых является нормальная скорость распространения пламени:

$$d_{кр} = f(\Phi, c, c_{n.г}; t_H, t_{Г}, U_H; \gamma, \lambda, Q, l, L, P...), \quad (1)$$

где Φ - химический состав и концентрация горючей смеси; $c, c_{n.г}$ - удельные теплоемкости горючей смеси и продуктов горения; $t_H, t_{Г}$ - температуры горючей смеси и продуктов горения; U_H - скорость горения смеси; γ, λ, Q - удельный вес, теплопроводность и теплота горения смеси; l, L - длина и форма пламегасящего канала; P - давление смеси.

Величина U_H - нормальная скорость распространения пламени является физико-химической константой горючей смеси, представляет собой минимально возможную скорость распространения пламени горючей смеси данного состава при определённых значениях температуры и давления [2,8]. Данный показатель также зависит от скорости химической реакции, совместного проявления температуро-проводимости смеси, диффузии молекул и активных центров, т.е. нормальная скорость распространения пламени определяется химической природой и физическими параметрами состояния газовой смеси.

Нормальная скорость распространения пламени определяется двумя методами аналитическим и экспериментальным путем.

Аналитическое определение включает в себя теорию распространения пламени, состоящую из двух групп [12]:

1. Теории, объясняющие развитие реакций в пламени разогретом реагентов.

2. Теории, отводящие основную роль в развитии реакций активным частицам, как например, атомам водорода или гидроксильным радикалам, имеющимся в зоне реакции.

К первой группе [1,12], называемой тепловыми теориями, а именно теорию Зельдовича и Франк-Каменского (1938). Авторы этой теории исходят из уравнения сохранения энергии составленного для одномерного установившегося течения и делают ряд допущений [1]:

1. Предполагается, что фронт пламени стоит на месте, а свежая горючая смесь подается в него со скоростью, равной скорости его распространения. В зоне ламинарного горения температура будет меняться от начальной температуры до температуры продуктов сгорания.

2. Задача решается в одномерной постановке: изменение параметров предполагается происходящим только в одном направлении – вдоль оси X.

3. Потери тепла в боковые стенки не учитываются.

4. Теплоемкость и коэффициенты теплопроводности – постоянные величины.

5. Делается допущение о равенстве коэффициентов диффузии и температуро-проводимости.

6. Зону горения делят на две области: зона подогрева – зона, в которой пренебрегают скоростью химической реакции и зона химических реакции (область высоких температур) в которой пренебрегают так называемым конвективным числом.

7. В формуле определения массовой скорости распространения пламени интеграл от начальной температуры до температуры горения находят приближенно [1, 12].

Вторая группа теории изложена в работах Тэнфорда и Пиза [12], которые предполагают, что скорость пламени определяется концентрацией активных радикалов, главным образом атомов водорода, в равновесных продуктах сгорания.

Предполагается, что радикалы диффундируют навстречу потоку и вызывают реакцию даже в относительно холодной газовой смеси потому, что коэффициент диффузии столь малых частиц очень велик и концентрация атомов водорода перед фронтом пламени, несмотря на то, что температура близка к температуре горючей смеси, должна быть близка к равновесной концентрации в продуктах сгорания.

Д.Б. Сполдинг [12] в своей книге «Основы теории горения» отмечает, что обе теории плодотворны, но недостаточны для полного объяснения явлений, ни одна из теорий не объясняет все опытные данные, но каждая из них хорошо объясняет некоторые ихние.

Для измерения нормальной скорости пламени экспериментально применяют несколько методов описанных в литературе [1,3, 5, 9, 11, 13]:

1. Определение распространения пламени в газовой горелке [1,9,13,14]. Основоположителем измерения скорости пламени по этому методу является Бунзен (1866). Сущность метода заключается в том, что скорость распространения пламени полагалась равной такой скорости истечения вещества через небольшое отверстие в сосуде, при котором пламя либо проскакивает внутрь сосуда, или при котором пламя срывается с горелки. В настоящее время при использовании этого метода используется принцип Гуи-Михельсона. Обычно ошибки при определении нормальной скорости распространения пламени этим методом составляют 5-7% [14]. Во-первых это связано с предположением, будто нормальная скорость распространения пламени по всей поверхности пламени одинакова. Во-вторых, в расчете скорости пламени предполагается, что фронт пламени является математической поверхностью, т.е. связан с разрывным переходом от начального состояния смеси к горению. В действительности переходу к горению предшествует нагревание смеси до температуры воспламенения, что осуществляется в некотором, тонком слое, имеющем некоторую измеримую протяженность. В-третьих, источник ошибок связан с возможностью влияния окружающей среды – влияние окружающего воздуха на пламя при недостатке воздуха в смеси.

2. Измерение скорости распространения пламени методом трубки. [1,9,14]. Достоинством его является соответствие условий распространения пламени ряду случаев в технике – в каналах, трубах и т.д. Метод заключается в том, что скорость пламени оценивается по его распределению в трубке, заполненной предварительно подготовленной смесью. Трубка, как правило, открыта с одного конца, регистрация распространения пламени производится фотографированием (кинемотаграфированием). Недостатки метода: пренебрежение изменением числа молей при горении смеси; непродолжительность времени регистрации процесса горения; не стационарность условий проведения опыта, охлаждение у стенок приводит к уменьшению скорости распространения пламени, особенно возле них, что приводит к зависимости скорости распространения пламени от диаметра трубок; в большинстве случаев действительная поверхность пламени во много раз превосходит площадь сечения трубки, что приводит к увеличению скорости распространения пламени.

3. Измерение скорости распространения пламени в замкнутом объеме – метод мыльного пузыря (метод бомбы постоянного давления). Мыльный пузырь используется в качестве эластичного сосуда для смеси [1,9,14]. Заготовленной смесью выдувается пузырь нужного размера. Затем через воронку, которая служила для выдувания пузыря, осторожно вводится искровой промежуток, при появлении искры возникало пламя, которое одинаково и свободно распространяется по всем направлениям до тех пор, пока не воспламенялся весь объем пузыря. Пузырь при этом расширяется и гибнет, как только пламя касается его пленки. Весь процесс воспламенения фиксируется фотографическим методом на фотопленку, размещенную на вращающемся барабане. Недостатки метода: присутствие значительного количества влаги (для некоторых газовых смесей содержание влаги сильно влияет на скорость пламени); экспериментатор не может произвольно изменять содержание влаги, не изменяя физических условий – давления и температуры; невозможность экспериментирования с целым рядом веществ, которые активно поглощаются пленкой и диффундируют через нее.

4. Метод определения скорости распространения пламени в замкнутом объеме с твердыми стенками – в бомбе постоянного объема [1,9,14]. Поджигание осуществляется в центре, фоторегистрация производится через специальную прозрачную вставку. Недостатки метода: запись выражения нормальной скорости [1], становится затруднительным в связи с появлением уравнения с дробными степенями, связывающими внутренний радиус бомбы постоянного объема и скорости химической реакции (на практике для нахождения нормальной скорости распространения пламени предлагается использовать вспомогательные графики по определению скорости химической реакции, рассчитанные заранее).

Проблема заключается в том, что нормальная скорость распространения пламени определяется и рассчитывается с различными допущениями и погрешностями, что влияет на точность критического канала огнепреградителя.

3. Цель и задачи исследования

Целью данного исследования является определение влияния 10% погрешности нормальной скорости распространения пламени, при использовании в расчетах максимально нормальных скоростей распространения пламени, на выбор критического диаметра огнегасящего канала огнепреградителя, с использованием возможностей имитационного моделирования.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- Определить зависимость критического диаметра огнегасящего канала огнепреградителя от критерия Пекле;
- Определить зависимость критического диаметра канала огнепреградителя от изменения нормальной скорости распространения пламени;

4. Определение влияния 10% погрешности нормальной скорости распространения пламени

Расчет критического диаметра огнегасящего канала огнепреградителя основывается на постоянстве критерия Пекле [15]:

$$Pe_{кр} = 65 = const, \quad (2)$$

где $Pe_{кр}$ – критерий Пекле.

Учитывая, что критерий Пекле величина постоянная, но для различных парогазовоздушных смесей [2] величина индивидуальная, с разбросом показателей от 46 до 99, построим график зависимости диаметра огнегасящего канала огнепреградителя от критерия Пекле (рис. 1) [18]. Исходные данные, используемые в поставленной задаче: газопаровоздушная смесь – ацетилен; рабочее давление – 100 кПа; максимально нормальная скорость распространения пламени – 1,57 м/сек; рабочая температура – 30°C.

Зависимость критического диаметра огнегасящего канала огнепреградителя от критерия Пекле линейная, из графика видно, что с увеличением значения критерия Пекле происходит увеличение значения диаметра огнегасящего канала.

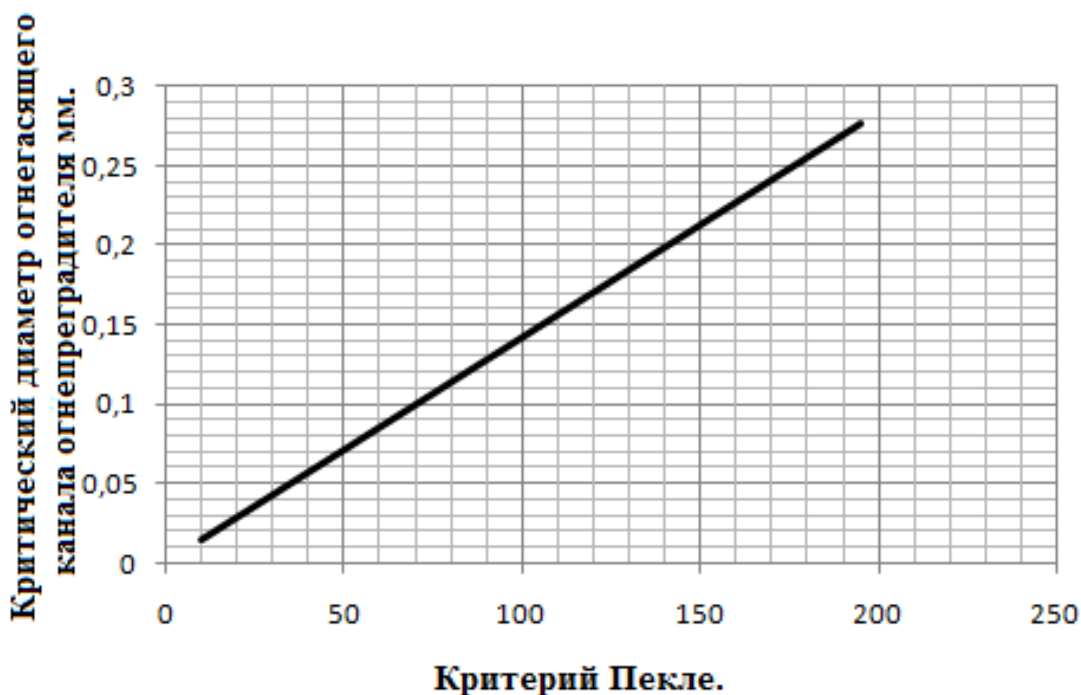


Рис. 1. Зависимость критического диаметра огнегасящего канала огнепреградителя от критерия Пекле

Критический диаметр огнегасящего канала огнепреградителя рассчитывается по формуле [7]:

$$d_{кр} = \frac{(Pe_{кр} \lambda RT)}{(U_H c_p \rho)} \quad (3)$$

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

Формула (3) показывает, что при увеличении нормальной скорости распространения пламени, критический диаметр огнегасящего канала будет уменьшаться.

Построим график зависимости критического диаметра огнегасящего канала от нормальной скорости распространения пламени (рис. 2).

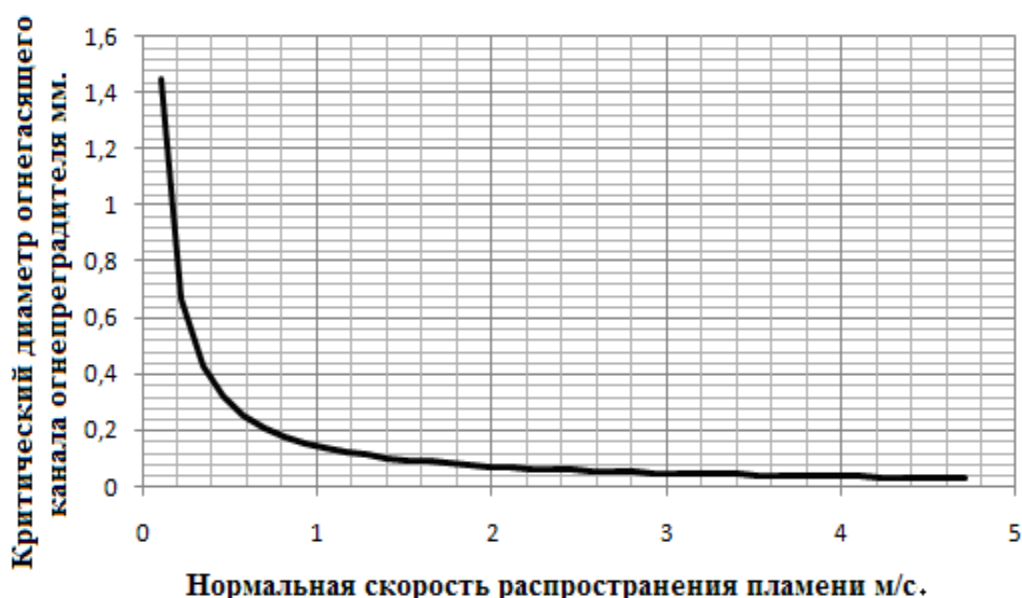


Рис. 2. Зависимость критического диаметра канала огнепреградителя от изменения нормальной скорости распространения пламени

График зависимости (рис.2) представляет собой убывающую гиперболу, показывающую, что при увеличении нормальной скорости распространения пламени критический диаметр огнегасящего канала уменьшается. Участок графика (рис. 2) расположенный между числовыми показателями 1 м/с и 2 м/с, на котором находится отрезок, с погрешностью 10% в границах от 1,413 м/с, до 1,727 м/с, с точкой максимально нормальной скорости распространения пламени ацетилена, изображает прямую убывающую линию.

Необходимо отметить, что ламинарное горение [2] протекает со скоростями, значительно превышающими нормальные скорости распространения пламени [7], что автоматически приводит к значительному уменьшению критического диаметра огнегасящего канала и возрастанию гидравлического сопротивления огнепреградителя.

Предполагаем, что вероятность отклонения нормальной скорости распространения пламени от значения 1,57 м/с, подчиняется нормальному закону распределения [17]. Тогда среднеквадратическое отклонение, нормальной скорости распространения пламени, будет равно 10% погрешности [3,4]. Средняя величина, равна 0,157 м/с. Построим график (рис. 3) зависимости дисперсии и среднеквадратического отклонения (рис. 4) критического диаметра огнегасящего канала от критерия Пекле, по Гауссовской статистике объемом 400, случайной величиной является показатель изменения нормальной скорости распространения пламени.

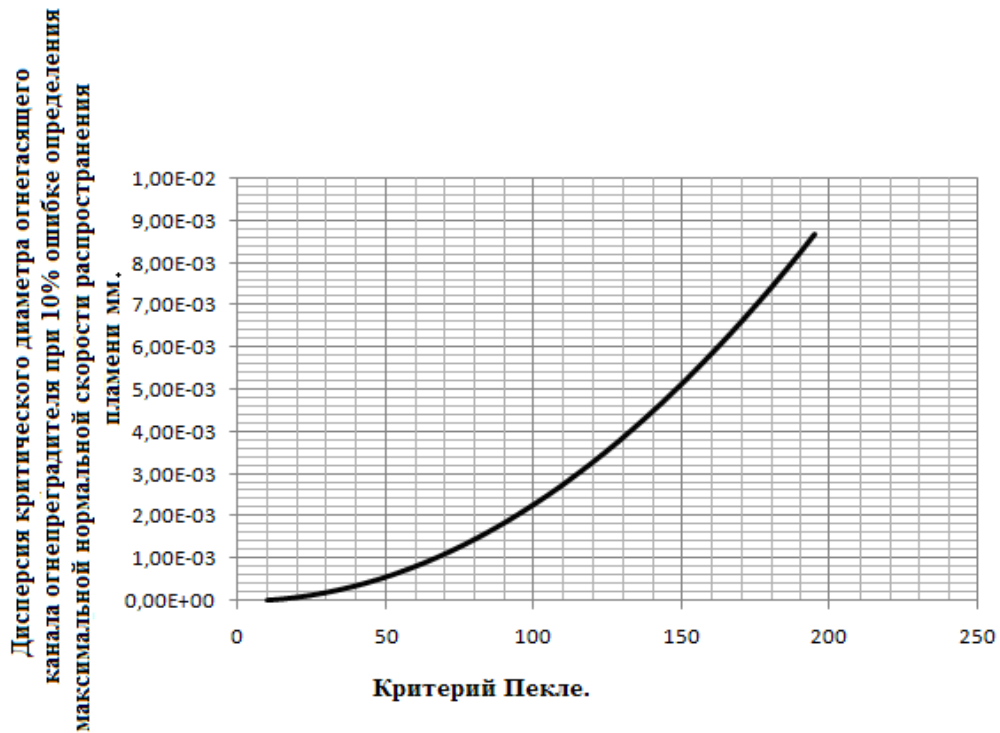


Рис. 3. Зависимость дисперсии критического диаметра огнегасящего канала огнепреградителя от критерия Пекле при 10% ошибке определения максимальной нормальной скорости распространения пламени

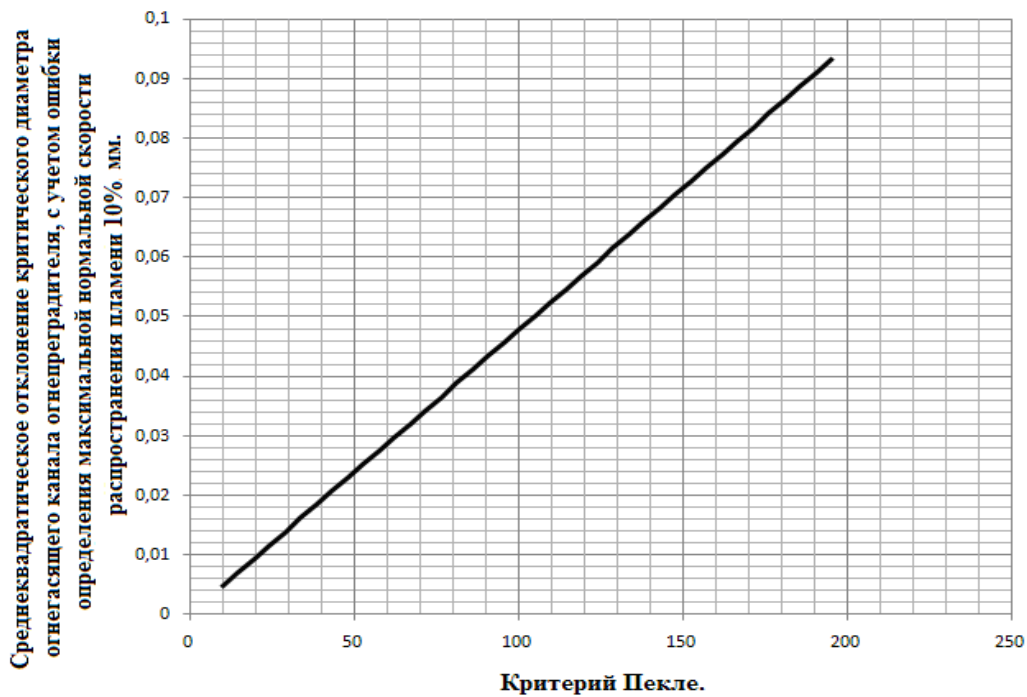


Рис. 4. Зависимость среднеквадратического отклонения критического диаметра огнегасящего канала огнепреградителя от критерия Пекле при 10% ошибке определения максимальной нормальной скорости распространения пламени

Используя правило «трех сигм» [19] определяем верхнюю и нижнюю доверительные границы критического диаметра огнегасящего канала при экспериментальной погрешности определения нормальной скорости распространения пламени в 10% (рис. 5).

Аргумент	Функция				
Значение критерия Пекле	Критический диаметр огнегасящего канала мм	Нижняя доверительная граница мм	Верхняя доверительная граница мм	Дисперсия	Средне квадратическое отклонение
10	0,014199124	-0,000145276	0,028543524	2,29E-05	0,004781467
14,74359	0,020934605	-0,00021419	0,042083401	4,97E-05	0,007049598
19,48718	0,027670087	-0,000283103	0,055623277	8,68E-05	0,00931773
24,23077	0,034405569	-0,000352016	0,069163154	0,0001342	0,011585862
28,97436	0,041141051	-0,000420929	0,082703031	0,0001919	0,013853993
33,71795	0,047876533	-0,000489842	0,096242907	0,0002599	0,016122125
38,46154	0,054612014	-0,000558756	0,109782784	0,0003382	0,018390257
43,20513	0,061347496	-0,000627689	0,123322661	0,0004268	0,020658388
47,94872	0,068082978	-0,000696582	0,136862538	0,0005256	0,02292652
52,69231	0,07481846	-0,000765495	0,150402414	0,0006348	0,025194652
57,4359	0,081553941	-0,000834408	0,163942291	0,0007542	0,027462783
62,17949	0,088289423	-0,000903321	0,177482168	0,0008839	0,029730915
66,92308	0,095024905	-0,000972235	0,191022044	0,0010239	0,031999046
71,66667	0,101760387	-0,001041148	0,204561921	0,0011742	0,034267178
76,41026	0,108495868	-0,001110061	0,218101798	0,0013348	0,03653531
81,15385	0,11523135	-0,001178974	0,231641674	0,0015057	0,038803441
85,89744	0,121966832	-0,001247887	0,245181551	0,0016869	0,041071573
90,64103	0,128702314	-0,0013168	0,258721428	0,0018783	0,043339705
95,38462	0,135437795	-0,001385714	0,272261305	0,0020801	0,045607836
100,1282	0,142173277	-0,001454627	0,285801181	0,0022921	0,047875968
104,8718	0,148908759	-0,00152354	0,299341058	0,0025144	0,0501441
109,6154	0,155644241	-0,001592453	0,312880935	0,002747	0,052412231
114,359	0,162379723	-0,001661366	0,326420811	0,0029899	0,054680363
119,1026	0,169115204	-0,00173028	0,339960688	0,0032431	0,056948495
123,8462	0,175850686	-0,001799193	0,353500565	0,0035066	0,059216626
128,5897	0,182586168	-0,001868106	0,367040442	0,0037804	0,061484758
133,3333	0,18932165	-0,001937019	0,380580318	0,0040644	0,06375289
138,0769	0,196057131	-0,002005932	0,394120195	0,0043588	0,066021021
142,8205	0,202792613	-0,002074845	0,407660072	0,0046634	0,068289153
147,5641	0,209528095	-0,002143759	0,421199948	0,0049783	0,070557285
152,3077	0,216263577	-0,002212672	0,434739825	0,0053035	0,072825416
157,0513	0,222999058	-0,002281585	0,448279702	0,005639	0,075093548
161,7949	0,22973454	-0,002350498	0,461819578	0,0059848	0,077361679
166,5385	0,236470022	-0,002419411	0,475359455	0,0063409	0,079629811
171,2821	0,243205504	-0,002488325	0,488899332	0,0067073	0,081897943
176,0256	0,249940985	-0,002557238	0,502439209	0,0070839	0,084166074
180,7692	0,256676467	-0,002626151	0,515979085	0,0074709	0,086434206
185,5128	0,263411949	-0,002695064	0,529518962	0,0078681	0,088702338
190,2564	0,270147431	-0,002763977	0,543058839	0,0082756	0,090970469
195	0,276882912	-0,00283289	0,556598715	0,0086934	0,093238601

Рис. 5. Нижняя и верхняя доверительные границы критического диаметра огнепреградителя при погрешности нормальной скорости распределения пламени в 10%.

Строим график зависимости верхних и нижних границ критического диаметра канала огнепреградителя от критерия Пекле при заданной экспериментальной ошибке [3.4] определения нормальной скорости распространения пламени (рис. 6).

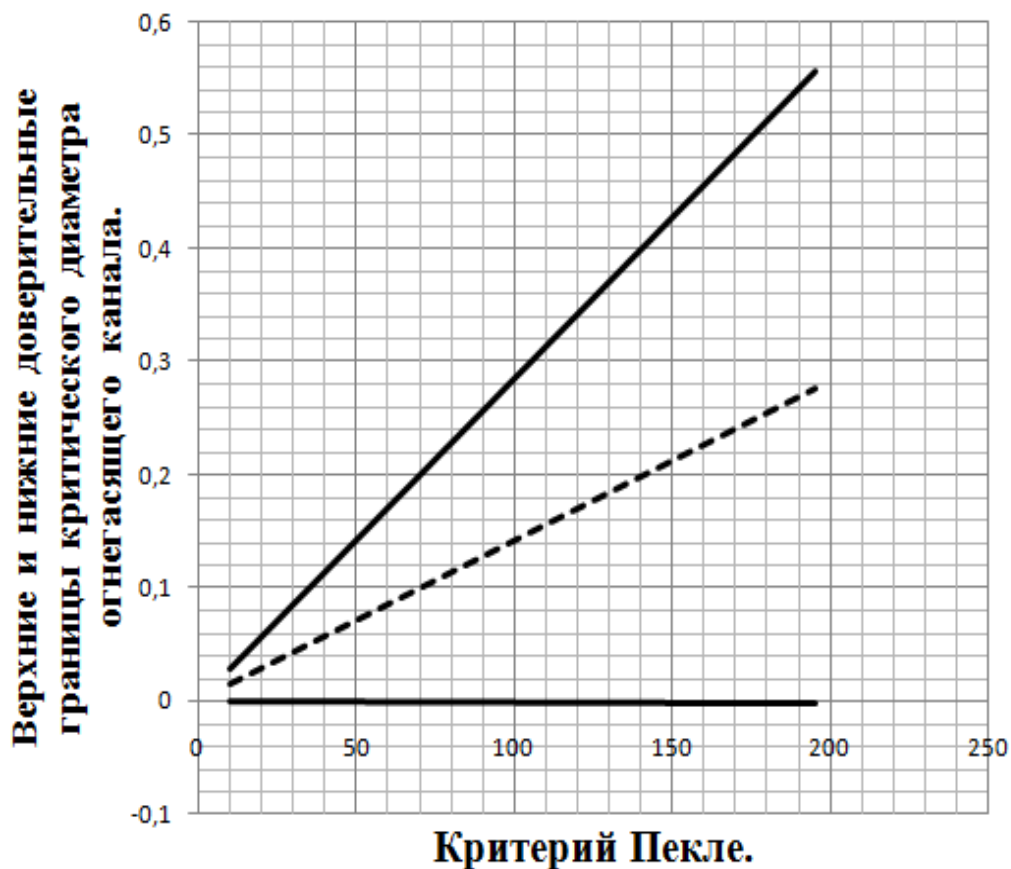


Рис. 6. Зависимость верхних и нижних доверительных границ критического диаметра огнегасящего канала огнепреградителя от критерия Пекле при 10% ошибке определения максимальной нормальной скорости распространения пламени

5. Анализ результата нормальной скорости распространения пламени на основе критерия Пекле

Полученные в работе верхние и нижние доверительные границы критического диаметра огнегасящего канала огнепреградителя находящиеся в границах от $-0,972235 \cdot 10^{-5}$ м, до $1,94022044 \cdot 10^{-1}$ м показывают какое сильное влияние, оказывает экспериментальная погрешность в 10% нормальной скорости распространения пламени. При увеличении критического диаметра на 0,09 м возможно уменьшение гидравлического сопротивления огнегасящего канала, с возможным сохранением его огнегасящих свойств.

6. Обсуждение достоверности и актуальности полученных результатов влияния 10% погрешности нормальной скорости на распространения пламени

Основная проблема огнепреградителей – это потеря давления из-за уменьшения площади сечения, а также в результате замерзания, загрязнения продукта и налипания продукта на элемент огнепреградителя. При этом на

рынке существует много технических решений, позволяющих решить данную проблему или, по крайней мере, уменьшить отрицательные воздействия.

Другая проблема – это отсутствие опыта и понимания процесса взрыва и горения, что в итоге приводит к выбору неподходящего оборудования и соответственно к отсутствию безопасности.

Определение влияния неточности измерения нормальной скорости распространения пламени на выбор критического диаметра огнегасящего канала огнепреградителя дает возможность выбора критического диаметра огнепреграждающего канала предполагает совмещение независимых друг от друга и взаимопротиворечащих понятий как огнегасящая и пропускная способности огнепреградителя, учитывая тот факт, что каждое вышестоящее числовое значение критического диаметра позволяет уменьшать гидравлическое сопротивление, при неизменном значении числа Пекле.

7. Выводы

1. В работе определено зависимость критического диаметра огнегасящего канала огнепреградителя от критерия Пекле, при которой диаграммный анализ показывает, что с увеличением значения критерия Пекле происходит увеличение значения диаметра огнегасящего канала.

2. В работе определено зависимость критического диаметра канала огнепреградителя от изменения нормальной скорости распространения пламени. Необходимо отметить, что ламинарное горение в данном случае протекает со скоростями, значительно превышающими нормальные скорости распространения пламени, это автоматически приводит к значительному уменьшению критического диаметра огнегасящего канала и возрастанию гидравлического сопротивления огнепреградителя.

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

Литература

1. Талантов А. Основы теории горения. Часть I.: учебное пособие. Казань: КЗ АИ им. А.Н. Туполева. 1975. 252 с.

2. Стрижевский И. Промышленные огнепреградители. М.: Издательство «Химия». 1966. 142 с.

3. ГОСТ 12.1.044-89. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения. Действующий с 01.01.1991] Москва. 2006. 100 с.

4. ГОСТ 12.1.044-89. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения. [Дата введения 01.01.91] СССР. 1991. 100 с.

5. Корольченко А. Процессы горения и взрыва. М.: «ПОЖНАУКА». 2007. 266 с.

6. ГОСТ Р 53323-2009. Огнепреградители и искрогасители. Общие технические требования. Методы испытаний. – Национальный стандарт Российской Федерации. Утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 18 февраля 2009 г. № 99-ст - [Электронный ресурс], http://pzhproekt.ru/nsis/Gost_r/53323.pdf (дата обращения: 13.09.2014).

7. Алексеев М. Основы пожарной профилактики в технологических процессах производств М.: научно–исследовательский и редакционно-издательский отдел. 1972. 341 с.

8. Водяник В. Взрывозащита технологического оборудования. М.: Издательство «Химия». 1991. 253 с.

9. Демидов П. Основы горения веществ. М.: Издательство Министерства коммунального хозяйства РСФСР, 1951. 297 с.

10. ГОСТ Р 12.3.047-98. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля. Введ. 2000-01-01. М.: Госстандарт России. 1998. 77с.

11. Баратов А. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения: Справочник. Книга М.: Химия. 1990. 496 с.

12. Сполдинг Д. Основы теории горения. Москва. Ленинград: Государственное энергетическое издательство. 1959. – 321 с.

13. Математическая теория горения и взрыва: монография. М.: Издательство «Наука». 1980. 478 с.

14. Хитрин Л. Физика горения и взрыва. М.: Издательство Московского Университета. 1957. 452с.

15. Зельдович Я. Теория распространения тихого пламени. Журнал экспериментальной и теоретической физики. Москва, Изд-во Академии Наук СССР. 1941. Вып. 1. Т. 11. С. 159 - 169.

16. Тесленко А., Бугаёв А., Погребняк Б. Защита производственных коммуникаций. [Электронный ресурс]. Коммунальное хозяйство городов: 2011. Вып. 99. – С. 157 – 160. – Режим доступа до журн.: <http://khg.kname.edu.ua/index.php/khg/article/view/693/688>

17. Тесленко А., Бугаёв А., Роянов В. Надежность огнепреградителя и средний молекулярный вес воздуха. *Проблемы пожарной безопасности*. Харьков, НУГЗУ. 2013. Вып. 34. С. 156-160.

18. Бугаёв А. Выбор критического диаметра огнегасящей насадки огнепреградителя с минимально допустимым гидравлическим сопротивлением при возможном изменении молекулярного веса воздуха. *Проблемы пожарной безопасности*. Харьков, НУГЗУ. 2014. Вып. 16. С. 106-112.

19. Венцель Е. Теория вероятности. М.: Издательство «Наука» главная редакция физико-математической литературы. 1969. 576 с.

ВПЛИВ НЕТОЧНОСТІ ВИМІРЮВАННЯ НОРМАЛЬНОЇ ШВИДКОСТІ ПОШИРЕННЯ ПОЛУМ'Я НА ВИБІР КРИТИЧНОГО ДІАМЕТРУ ВОГНЕГАСЯЧОГО КАНАЛУ ВОГНЕПЕРЕШКОДЖУВАЧІВ.

Василь МАТУХНО к.т.н., викл. каф. (ORCID 0000-0002-9713-7710)

Національний університет цивільного захисту України

Андрій БУГІЙОВВ, нач. курсу, Навчальний центр оперативно-рятувальної служби цивільного захисту ДСНС України

Для запобігання поширенню полум'я з аварійного обладнання в суміжні з ним, а також потрапляння полум'я через скидні і дихальні клапани в ємності з горючими речовинами необхідно передбачати пристрої вогнеперешкоджувачі. Конструкція вогнеперешкоджувачі забезпечує вільний прохід газу через пористе середовище, в той же час не допускає пропускання полум'я в об'єм, що захищається з аварійного простору.

Основним розрахунковим параметром конструкції вогнеперешкоджувачів є критичний діаметр каналу вогнеперешкоджувального елемента. Вогнегасну здатність слід розраховувати по каналу максимальних поперечних розмірів, оскільки полум'я, в першу чергу, пройде саме по цьому каналу.

Тому в роботі розглянуто вплив помилки максимально нормальної швидкості поширення полум'я на вибір критичного діаметра каналу вогнеперешкоджувачів, зі збереженням його вогнегасної здатності і можливим зменшенням гідравлічного опору.

Аналіз залежності критичного діаметру вогнегасного каналу вогнеперешкоджувачів від критерію Пекле показав, що зі збільшенням значення критерію Пекле відбувається збільшення значення діаметра вогнегасного каналу.

Слід зазначити, що ламінарне горіння протікає зі швидкостями, які значно перевищують нормальні швидкості поширення полум'я, що автоматично призводить до значного зменшення критичного діаметра вогнегасного каналу і зростанню гідравлічного опору вогнеперешкоджувача.

Дана можливість вибору критичного діаметра вогнеперешкоджувального каналу передбачає поєднання незалежних один від одного і взаємозаперечуючих понять як вогнегасна і пропускна здатність вогнеперешкоджувачів, враховуючи той факт, що кожне попереднє числове значення критичного діаметра дозволяє зменшувати гідравлічний опір, при незмінному значенні числа Пекле.

Ключові слова: нормальна швидкість поширення полум'я, ламінарне горіння, виробнича безпека, захист технологічного і виробничого обладнання, вогнеперешкоджувач, критичний діаметр вогнегасного каналу, імітаційне моделювання.

INFLUENCE OF INACCURACY OF MEASURING THE NORMAL SPEED OF FLAME DISTRIBUTION ON THE CHOICE OF THE CRITICAL DIAMETER OF THE FIRE EXTINGUISHING CHANNEL.

*V. MATUKHNO, PhD, Lecturer of the Department,
National University of Civil Defense of Ukraine, Kharkiv, Ukraine*

*A. BUGAYEV, Chief of kurs,
Training Center for the Operational Rescue Civil Protection Service of the SES
of Ukraine, Kharkiv, Ukraine*

In order to prevent the spread of flame from emergency equipment into adjacent equipment, as well as flame penetration through relief and breathing valves in a tank with combustible substances, it is necessary to provide fire-blocking devices. The design of the flame arrester provides a free passage of gas through the porous medium, while at the same time it does not allow the passage of flame into the protected volume from the emergency space.

The main design parameter of the flame arrester design is the critical channel diameter of the flame arrester element. Flame retardant ability should be calculated on the channel of maximum transverse dimensions, since the flame, first, will pass through this channel.

Therefore, in the robot, the influence of the error of the maximum normal flame propagation velocity on the choice of the critical diameter of the flame arrester channel with the preservation of its fire-extinguishing ability and a possible decrease in hydraulic resistance is considered.

An analysis of the dependence of the critical diameter of the extinguishing channel of the fire suppressor on the Peclet criterion showed that with an increase in the value of the Peclet criterion, the value of the diameter of the extinguishing channel increases.

It should be noted that laminar combustion proceeds at speeds significantly exceeding the normal flame propagation velocities, which automatically leads to a significant decrease in the critical diameter of the extinguishing channel and an increase in the hydraulic resistance of the flame arrester.

This possibility of choosing the critical diameter of the flame retardant channel involves combining independent from each other and mutually contradictory concepts as fire extinguishing and throughput of the flame arrester, given the fact that each higher numerical value of the critical diameter can reduce hydraulic resistance, at a constant value of the Peclet number.

Keywords: normal flame propagation speed, laminar combustion, industrial safety, protection of technological and industrial equipment, flame arrester, critical diameter of the extinguishing channel, simulation.

References

1. Talents A. (1975). Fundamentals of combustion theory. Part I: Study Guide. Kazan. KI AI them. A.N. Tupolev. 1975. 252.

2. Strizhevsky I. (1966). Industrial fire arresters. Chemistry Publishing House. M.: 1966. 142.
3. GOST 12.1.044-89. Flammability of substances and materials. Nomenclature of indicators and methods of their determination. Existing p 01.01.1991] Moscow. 2006. 100.
4. GOST 12.1.044-89. Flammability of substances and materials. Nomenclature of indicators and methods of their determination. [Date of introduction 01.01.91] SU. 1991. 100.
5. Korolchenko A. (2007). The processes of combustion and explosion. «SNAKE». M.: 2007. 266.
6. GOST P 53323-2009. Fire arresters and extinguishers. General specifications. Test methods. - National standard of the Russian Federation. Approved and implemented by Order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology of February 18, 2009. № 99-art. - [An electronic resource], http://pozhproekt.ru/nsis/Gost_r/53323.pdf
7. Alekseev M. (1972). Fundamentals of fire prevention in technological processes of production. Research, editorial, and publishing department. M.: 1972. 341.
8. Vodianik V. (1991). Explosion protection of technological equipment. Publisher «Chemistry». M.: 1991. 253.
9. Demidov P. (1951). Fundamentals of combustion of substances. Publisher of the Ministry of Public Utilities RSFSR. Moscow. 1951. 297.
10. GOST P 12.3.047-98. Fire safety of technological processes. General requirements. Control methods. Introduced. 01.01.2000. Gosstandart of Russia. M.: 1998. 77.
11. Baratov A. (1990). Fire explosion of substances and materials and means of their extinguishing: Reference. Book. Chemistry. Moscow. 1990. 496.
12. Spaulding D. (1959). Fundamentals of combustion theory. State Energy Publishing House. Leningrad. 1959. – 321.
13. Mathematical theory of combustion and explosion: a monograph. Science Publishing House. Moscow. 1980. 478.
14. Khitrin L. (1957). Physics of combustion and explosion. Publishing House of Moscow University. Moscow. 1957. 452.
15. Zeldovich Ya. (1941). The theory of the spread of the quiet flame. Journal of Experimental and Theoretical Physics., Publisher of the USSR Academy of Sciences. 1941. Moscow Publ. 1. C. 11. P. 159 - 169.
16. Teslenko A., Bugaev A., Pogrebnyak B. (2011). Protection of production communications. [Electronic resource]. Public utilities of cities: 2011. Publ. 99. – P. 157 – 160. – Log access mode.: <http://khg.kname.edu.ua/index.php/khg/article/view/693/688>
17. Teslenko A., Bugaev A., Royanov V. (2013). Fire retardant reliability and average molecular weight of air. *Fire safety issues*. Kharkiv, NUCDU. 2013. Publ. 34. P. 156-160.
18. Bugaev A. (2014). Selection of the critical diameter of the extinguishing nozzle of the fire arrester with the minimum allowable hydraulic resistance with a

possible change in the molecular weight of air. *Fire safety issues*. Kharkiv, NUCDU 2014. Publ. 16. P. 106-112.

19. Wenzel E. (1969). Probability theory. M.: Publishing house "Science" the main edition of the physical and mathematical literature, 1969, 576.