

*А.Ю. Бугаёв, преподаватель, НУГЗУ*

## **ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ СРЕДНЕГО МОЛЕКУЛЯРНОГО ВЕСА ВОЗДУХА НА ДЛИНУ (ТОЛЩИНУ СЛОЯ ГРАНУЛ) ОГНЕГАСЯЩЕЙ НАСАДКИ ОГНЕПРЕГРАДИТЕЛЯ С ЦЕЛЬЮ УМЕНЬШЕНИЯ ВЕРОЯТНОСТИ ЕГО ПРОГОРАНИЯ**

(представлено д-ром техн. наук Басмановым А.Е.)

Рассмотрено влияние изменения молекулярного веса воздуха на длину огнегасящей насадки (толщину слоя гранул), при стабилизации пламени на одном торце огнепреградителя с целью возможного увеличения длины насадки и уменьшения возможности ее прогорания.

**Ключевые слова:** производственная безопасность, защита производственного оборудования, огнепреградитель, насадка огнепреградителя, длина огнегасящего слоя, высота огнегасящей насадки, прогорание огнепреградителя, молекулярный вес воздуха, корунд, кольца Рашига, стеклянные шарики.

**Постановка проблемы.** Согласно пункта 7.14 ГОСТ 12.3.047.98 [1] ограничение распространения пожара за пределы очага горения должно обеспечиваться: устройством противопожарных преград, установлением предельно допустимых площадей противопожарных отсеков и секций, устройством аварийного отключения и переключения установок и коммуникаций, применением средств, предотвращающих или ограничивающих разлив и растекание жидкостей при пожаре, применение огнепреграждающих устройств в оборудовании.

Такую функцию по защите устройств, оборудования и трубопроводов выполняют огнепреградители. ГОСТ Р 53323-2009 [2] определяет, что время работоспособности коммуникационных огнепреградителей при воздействии пламени должно соответствовать требованиям, указанным в технической документации на изделие, но не менее 10 минут.

Известны случаи, когда огнепреградители не выполняли свои защитные функции. При пожаре на Ангорском нефтеперерабатывающем комбинате пожар по газоуравнительной обвязке с сухими огнепреградителями распространился на всю группу из 15 резервуаров [3].

22 августа 2009 года в резервуарном парке линейной производственно-диспетчерской станции «КОНДА» на территории Кондинского района Ханты-Мансийского округа [4, 5] произошел пожар, который получил быстрое распространение из-за прогорания огнепреградителя, установленного на газоуравнительной обвязке резервуаров.

Принцип действия огнепреградителей заключается в гашении пламени в узких каналах [6], в такие каналы пламя проникает на определенную глубину и приобретает форму «языка» и чем больше площадь сечения канала, тем на большую глубину внутрь него проникает пла-

мя [3]. Однако из источников [6-8] известно, что длина огнегасящего канала не влияет на эффект гашения пламени. Поэтому используются кассеты огнепреградителей с относительно короткими каналами, которые к тому же легче охладить в условиях пожара, что требует дополнительных физических и моральных усилий от обслуживающего персонала. Так при тушении пожара на Киришском нефтеперерабатывающем заводе дыхательные системы резервуаров с бензином были обернуты мешковиной и интенсивно орошались водой, что предотвратило распространение пожара от горящего резервуара на соседние [9].

Описанная проблема заключается в прогорании сухих огнепреградителей, когда пламя на одном конце огнепреграждающей насадки стабилизируется и начинает прогревать ее от горячего торца к более холодному торцу, что ведет к проникновению пламени на другой конец трубопровода относительно огнепреградителя и возникновению пожара в защищаемом технологическом оборудовании.

*Анализ последних достижений и публикаций.* Как было рассмотрено выше такие авторы как М.В. Алексеев, В.И. Водяник, И.И. Стрижевский [6-8], опираясь на работу Я.Б. Зельдовича [10] указывают, что длина канала не влияет на огнегасящую способность огнепреградителя.

В работе [11] проведен численный анализ процесса пористых огнепреградителей и установлено, что увеличение огнестойкости канального огнепреградителя способствует увеличению его длины и уменьшению эффективного размера (диаметра) канала. То есть, увеличивая длину пористого элемента или уменьшая диаметр канала можно достигнуть того, что пламя, возникшее за огнепреградителем, будет стабилизироваться на выходной поверхности пламегасящего элемента, не входя внутрь него.

Я.С. Кисилев и О.А. Хорошилов [3] в работе “Определение критических параметров гашения пламени в сухих огнепреградителях” применительно к диаметру цилиндрических каналов получили формулу определяющую зависимость критического диаметра канала огнепреградителя от его длины

$$d_{кр} = \frac{2na}{U_n} \frac{F}{S}, \quad (1)$$

где  $d_{кр}$  – критический диаметр канала, м;  $n$  – относительный температурный градиент;  $U_n$  – нормальная скорость распространения пламени, м·с<sup>-1</sup>;  $F$  – площадь поверхности теплообмена критического диаметра канала, м<sup>2</sup>;  $S$  – площадь поперечного сечения критического диаметра канала, м<sup>2</sup>.

Данная формула дает аналитическую зависимость величины  $d_{кр}$  от величины  $F/S$ , которая является функцией длины канала, таким образом представления о том, что эффект гашения пламени не зависит от длины огнепреграждающего канала, являются ошибочными.

Однако выше изложенные работы не рассматривают влияние изменения молекулярного веса воздуха на расчёт длины огнегасящего канала или высоты (длины) огнегасящей насадки огнепреградителя.

**Постановка задачи и ее решение.** Целью данной работы является исследование определения влияния среднего молекулярного веса воздуха на длину насадки огнепреградителя (высоту слоя гранул, толщина слоя гранул) – в дальнейшем длину насадки, с последующей стабилизацией пламени в огнегасящей насадке, увеличением времени прогрева огнепреградителя и уменьшением вероятности его прогорания.

Пламя, распространяясь по коммуникациям от продуктов сгорания к продуктам горения, сталкивается с фронтальной поверхностью огнепреградителя и разбивается на элементарные полусферы или “языки” пламени в зависимости от насадки огнепреграждающего элемента [3], происходит стабилизация процесса горения в огнепреградителе. При этом огнепреградитель начинает прогреваться от горячего торца к холодному и когда на противоположной части огнепреградителя температура достигает значения температуры зажигания, происходит воспламенение смеси в защищаемом объеме, т.е. огнепреградитель теряет свою защитную функцию – прогорает.

Современные огнепреградители, устанавливаемые на резервуарах с нефтепродуктами во время пожара сравнительно быстро прогреваются и если их не охлаждать то они пропускают пламя [9, 12, 11], соответственно, чем длиннее насадка огнепреградителя тем дольше он будет прогреваться.

Но неоправданное увеличение длины насадки ведет к увеличению металлоемкости, массы и габаритных размеров огнепреграждающего устройства.

Поэтому конечные результаты должны входить в доверительные расчетные интервалы в зависимости от погрешностей вводимых исходных данных [15].

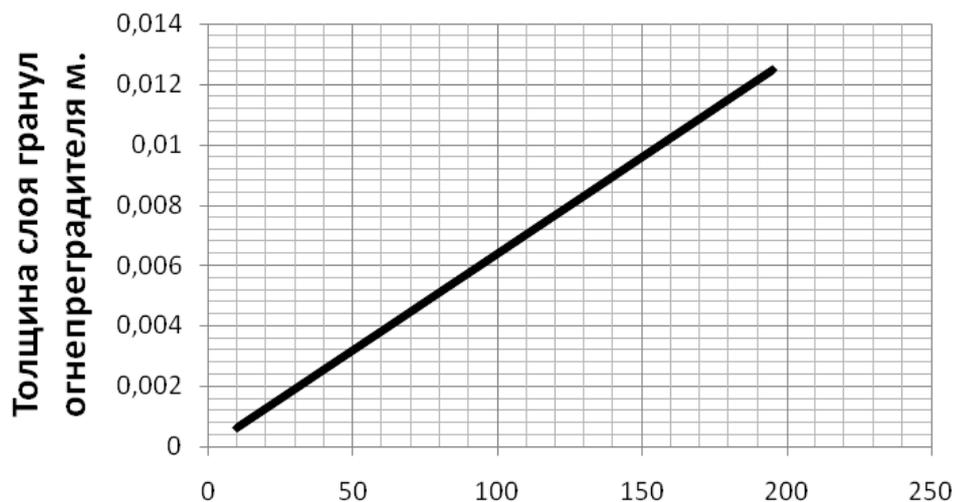
Эффект гашения пламени в огнепреградителях достигается при наименьшем диаметре пламегасящих каналов. Используя метод теории подобия Я.Б.Зельдович [10] установил, что на пределе гашения пламени достигается постоянство безразмерного критерия Пекле:

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

где  $a$  – коэффициент температуропроводности исходной смеси,  $m \cdot s^{-1}$ .

Учитывая, что критерий Пекле является основным расчетным показателем при определении огнегасящих параметров огнепреградителя и учитывая, что абсолютное значение критерия Пекле для различных парогазовоздушных смесей является величиной индивидуальной [8, 13], рассмотрим влияние критерия Пекле на длину насадки (рис. 1).

График представляет собой возрастающую линейную зависимость, показывающий, что с увеличением критерия Пекле увеличивается длина насадки огнепреградителя.

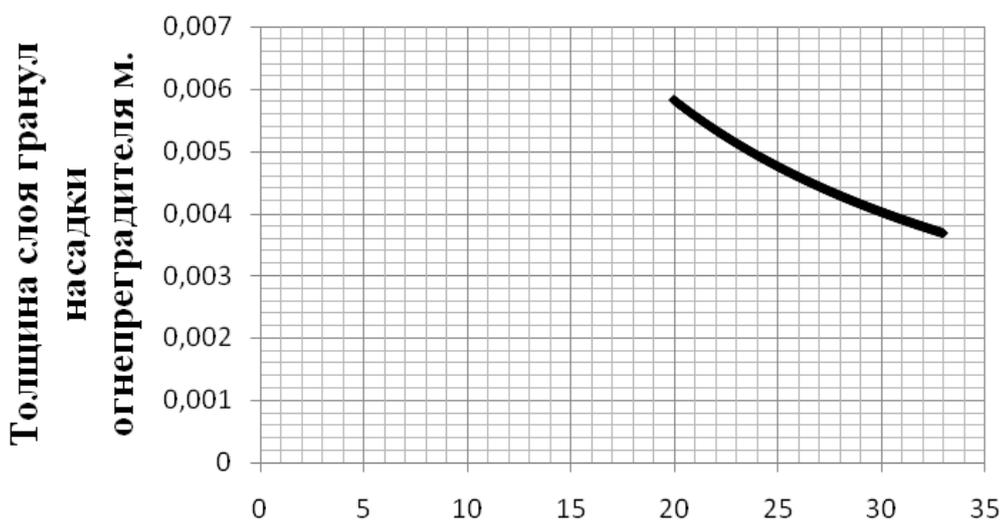


**Критерий Пекле.**

**Рис. 1.** Зависимость длины насадки (толщины слоя гранул) огнепреградителя от критерия Пекле

Средний молекулярный вес воздуха является величиной не постоянной, численный показатель которого равен 28,98 г/моль и может меняться в пределах 1-3% [14, 15], в зависимости от изменения различных внешних факторов (загазованность воздуха в городе, влажность воздуха, температура окружающей среды).

Построим зависимость высоты слоя насадки огнепреградителя от изменения среднего молекулярного веса воздуха (рис. 2).



**Средний молекулярный вес воздуха.**

**Рис. 2.** Зависимость длины насадки (толщины слоя гранул) огнепреградителя от изменения молекулярного веса воздуха

Зависимость на графике убывающая, показывающая, что с возрастанием среднего молекулярного веса воздуха происходит уменьшение длины насадки.

Предположив, что вероятность отклонения среднего молекулярного веса воздуха от значения 28,98 г/моль подчиняется нормальному закону распределения [15], со среднеквадратическим отклонением равным 10% его средней величины (рис. 3), т.е. 2,898 г/моль. Построим график дисперсии длины насадки (рис. 4), найдем доверительные интервалы, определим верхние и нижние границы изменения длины насадки огнепреградителя, при изменении значения среднего молекулярного веса воздуха (рис. 5) по Гауссовской статистике объемом 400, случайной величиной является показатель изменения среднего молекулярного веса воздуха.

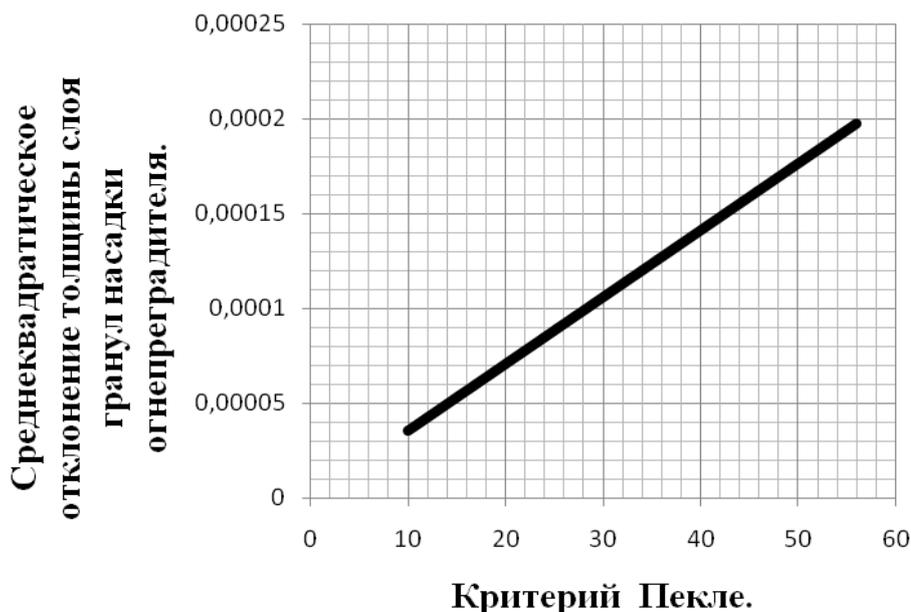


Рис. 3. Зависимость среднеквадратического отклонения толщины слоя гранул огнепреградителя от критерия Пекле при изменении среднего молекулярного веса воздуха в пределах 10%

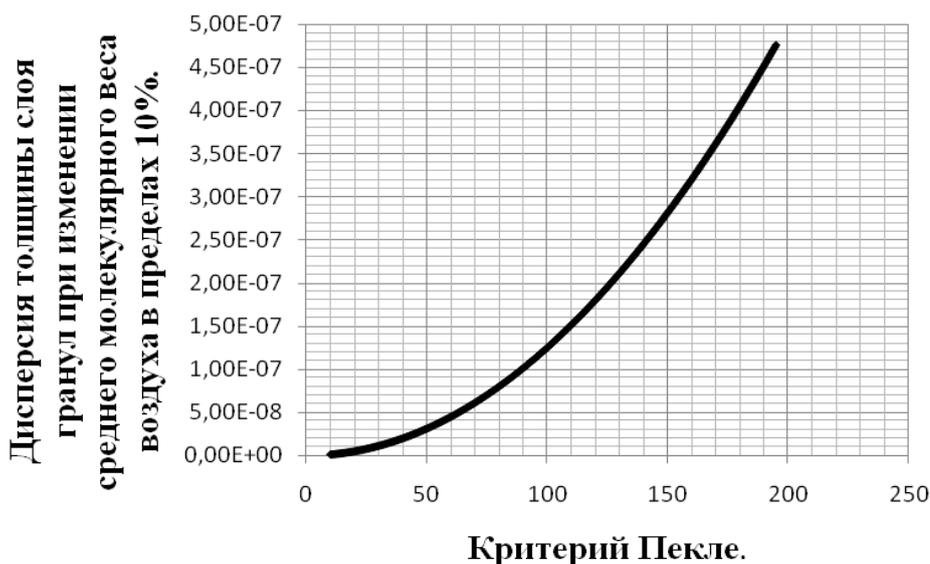
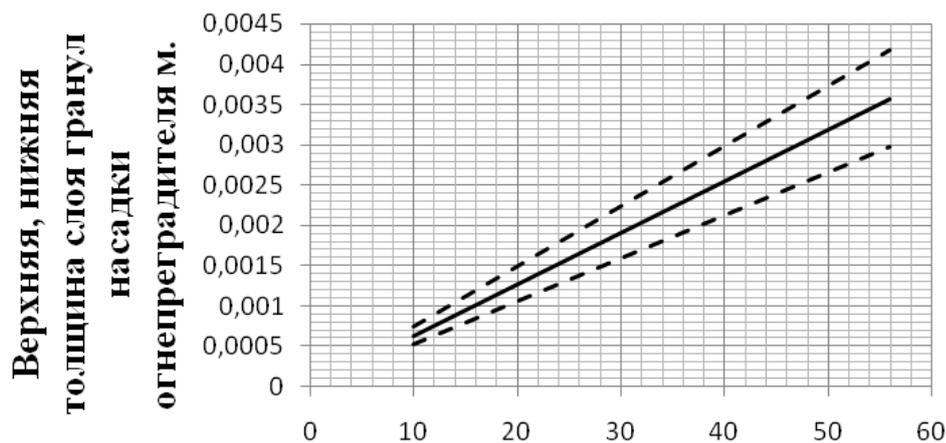


Рис. 4. Зависимость дисперсии длины насадки (толщины слоя гранул) огнепреградителя от значения Пекле при изменении среднего молекулярного веса воздуха в области 10%



Критерий Пекле.

**Рис. 5.** Зависимость верхних и нижних доверительных границ длины насадки (толщины слоя гранул) огнепреградителя при изменении среднего молекулярного веса воздуха в области 10%

**Выводы.** Полученные в работе нижние и верхние доверительные границы длины насадки огнепреградителя установленного на трубопроводе по транспортировке ацетилену при давлении 100 кПа, находящиеся в пределах [0,003464 м; 0,004843 м] с дисперсией  $5,2848163 \cdot 10^{-08}$  м, дают возможность увеличить длину насадки, от полученного расчетного значения, равного 0,00415 м до 0,00483 м, что позволит увеличить время прогрева корпуса огнепреградителя и уменьшить вероятность его прогорания.

## ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ Р 123.047-98. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля [Текст]. – Введ. 2000-01-01. – М.: Госстандарт России 1998. – 77 с.

2. 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://pozhprouekt.ru/nsis/Gost\\_r/53323.pdf](http://pozhprouekt.ru/nsis/Gost_r/53323.pdf) (дата обращения: 13.09.2014).

3. Киселев Я.С. Определение критических параметров гашения пламени в сухих огнепреградителях. [Электронный ресурс] / Киселев Я.С., Хорошилов О.А. // Научно-практический и учебно-методический журнал «Безопасность жизнедеятельности». Изд-во «Новые технологии». – М.: 2011. – №3(123). – С. 56. – Режим доступа: <http://www.twirpx.com/file/892139/> (дата обращения: 12.05.2015).

4. Описание пожара произошедшего 22 августа 2009 года в резервуарном парке линейной производственно-диспетчерской станции

«КОНДА» филиала «УРАЙСКОЕ УМН» ОАО «СИБНЕФТЕПРОВОД», расположенного по адресу: Ханты-Мансийский Автономный округ. – Югра: Кондинский район. Пояснительная записка. [Электронный ресурс]. – Ханты-Мансийск: 2009. – С.35. – Режим доступа к пояснительной записке: <http://csu-konda-mp4.ru/img%20pojary/lpds%20konda.pdf> (дата обращения: 16.09.2015).

5. Авария на вертикальных стальных резервуарах нефтяного терминала Конда ОАО «Сибнефтепровод». Группа компаний Городской центр экспертиз. [Электронный ресурс] / – С.25. – Режим доступа: [http://www.unece.org/fileadmin/DAM/env/documents/2013/TEIA/Odesa\\_Sept\\_2013/Accident\\_in\\_Russian\\_Federation\\_AIsakov\\_RUS.pdf](http://www.unece.org/fileadmin/DAM/env/documents/2013/TEIA/Odesa_Sept_2013/Accident_in_Russian_Federation_AIsakov_RUS.pdf) (дата обращения: 16.09.2015).

6. Алексеев М.В. Предупреждение пожаров от технологических причин / Алексеев М.В. – М.: Издательство Министерства Коммунального Хозяйства РСФСР, 1963. – 199 с.

7. Водяник В.И. Взрывозащита технологического оборудования / Водяник В.И – М.: Издательство «Химия», 1991. – 253 с.

8. Стрижевский И.И. Промышленные огнепреградители / И.И. Стрижевский, В.Ф. Заказов // – М.: Издательство «Химия», 1966. – 142с.

9. Киселев Я.С. Физические модели горения в системе пожарной безопасности. [Электронный ресурс] / Киселев Я.С., Хорошилов О.А., Демехин Ф.В. – Санкт – Петербург Издательство Политехнического университета, 2009. – С.339. – Режим доступа к монографии: [https://www.allbeton.ru/wiki/Физические\\_модели\\_горения\\_в\\_системе\\_пожарной\\_безопасности\\_\(киселев\)](https://www.allbeton.ru/wiki/Физические_модели_горения_в_системе_пожарной_безопасности_(киселев)) (дата обращения: 20.09.2015).

10. 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.

11. Какуткина Н.А. Закономерности прогорания пористых огнепреградителей с канальным пламегасящим элементом. [Электронный ресурс] / Какуткина Н.А., Коржавин А.А., Рычков А.Д. // Физика горения и взрыва – 2009. – т.45. – №3. – Режим доступа: <http://www.sibran.ru/upload/iblock/4cb/4cbccdb59245caa921b617fe040ff221.pdf> (дата обращения: 17.10.2015).

12. Хорошилов О.А. Экспериментальное исследование критических конструктивных параметров пламегашения огнезадерживающих элементов: дис. кандидата тех.наук.: 05.26.03. / Хорошилов Олег Анатольевич. – Санкт-Петербург, 2001. – 283 с.

13. Бугаёв А.Ю. Влияние изменения молекулярного веса воздуха на показатель внутреннего диаметра огнепреградителя с целью уменьшения вероятности возникновения «краевого эффекта» [текст] / А.Ю. Бугаёв // Проблемы пожарной безопасности. Вып. 36. – Харьков: НУГЗУ, 2015. – С.36-41.

14. Чандлер Т. Воздух вокруг нас. – Л.: Гидрометеиздат, 1974. – 144 с.

15. 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.

А.Ю. Бугайов

**Вплив зміни середньої молекулярної маси повітря на довжину (товщина шару гранул) вогнегасної насадки вогнеперешкоджувачів з метою зменшення ймовірності його прогорання**

Розглянуто вплив зміни молекулярної маси повітря на довжину вогнегасної насадки (товщину шару гранул), при стабілізації полум'я на одному торці вогнеперешкоджувачів з метою можливого збільшення довжини насадки і зменшення можливості її прогорання.

**Ключові слова:** виробнича безпека, захист виробничого обладнання, вогнеперешкоджувач, насадка вогнеперешкоджувачів, довжина вогнегасного шару, висота вогнегасної насадки, прогоряєєє вогнеперешкоджувачів, молекулярна маса повітря, корунд, кільця Рашига, скляні кульки.

A.Yu. Bugaev

**Effect of air average molecular weight by the length (thickness of the layer pellets) nozzles extinguishing flame arrester to reduce the likelihood of burn-out**

The effect of the change in the molecular weight of air extinguishing nozzle length (thickness of the layer of granules), the stabilization of the flame arrester at one end with a view to a possible increase in length of the nozzle and reduce the possibility of its burning.

**Keywords:** industrial safety, protection of production equipment, flame arrester, flame arrester head, extinguishing the length of the layer height of the extinguishing nozzle, burning flame arrester, the molecular weight of air, corundum, Raschig rings, glass beads.