

УДК 614.84

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТОЛЩИНЫ СЛОЯ ГРАНУЛИРОВАННОГО ПЕНОСТЕКЛА НА ГОРЕНИЕ ЖИДКОСТЕЙ РЯДА АЛКАНОВ

Дадашов И.Ф.

Показана возможность прекращения горения жидких углеводородов ряда алканов за счет последовательного нанесения на поверхность жидкости легкого носителя (пеностекла) и гелеобразующего состава. Экспериментально определено влияние толщины слоя пеностекла на массовую скорость выгорания жидких гомологов ряда алканов: пентана, гептана, октана, декана и додекана. Установлено, что массовая скорость выгорания алканов уменьшается с ростом толщины слоя пеностекла. Отмечен эффект прекращения горения высококипящих алканов (декан, додекан) при достижении толщины слоя пеностекла 8 и 6 см; для октана необходим слой пеностекла 10 см. Низкокипящие алканы (пентан, гептан) не гаснут при толщине слоя пеностекла 12 см. Нанесение на пеностекло геля в указанных условиях ускоряет тушение и гарантирует невозможность повторного воспламенения.

Ключевые слова: массовая скорость выгорания, алканы, пентан, гептан, октан, декан, додекан, пожары в резервуарах, гранулированное пеностекло, гель, повторное воспламенение.

(Поступила в редакцию 5 июля 2018 г.)

Введение. Данные всемирной статистики пожаров показывают широкую распространенность пожаров класса В [1–2]. При этом важно отметить, что прекращение горения горючих жидкостей является одной из сложнейших проблем пожаротушения. Особенно большие трудности возникают при тушении резервуаров большой емкости. Такие пожары характеризуются большой длительностью, значительным материальным ущербом и нередко человеческими жертвами [3].

Обширные исследования легковоспламеняющихся и горючих жидкостей показывают эффективность использования большинства разработанных на данный момент методов их тушения: воздушно-механических пен, распыленной воды и водных растворов, эмульсий, порошковых средств, аэрозолей, твердой углекислоты, газов-разбавителей, газообразных ингибиторов, откачиванием горючей жидкости из резервуара. Как отмечено [3–5], из них для тушения пожаров класса В большая часть представляет теоретический интерес из-за сложности обеспечения условий затухания одновременно над всей поверхностью жидкости.

Реальная эффективность пожаротушения достигается в тех случаях, когда реализуется изолирующий механизм прекращения горения. Самым мобильным изолирующим средством пожаротушения для больших площадей горения являются воздушно-механические пены. Огнетушащие пены позволяют достичь условий, необходимых для тушения паровоздушной смеси над всей поверхностью жидкости одновременно, и сохранить эти условия в течении времени, достаточного для охлаждения конструкций, нагретых пожаром до температур ниже температуры самовоспламенения. Одновременное выполнение указанных условий необходимо для успешного тушения пожаров класса В.

В нормативных документах большинства государств постсоветского пространства пены указаны как основное средство тушения жидкостей, и только в некоторых случаях рекомендуют применение огнетушащих порошков общего назначения или распыленной воды [6]. Опыт использования пен для пожаротушения горючих жидкостей на данный момент составляет более ста лет. Для получения огнетушащих пен используют водные растворы пенообразователей (ПО), главным компонентом которых являются поверхностно-активные вещества (ПАВ). Первоначально основой ПО были ПАВ растительного происхождения, далее их заменили белковые и синтетические ПАВ. Однако все пенообразователи, разработанные на сегодняшний день на указанных принципах, во многих случаях не обеспечивают требуемой эффективности пожаротушения даже при точном выполнении требований нормативных документов [3].

В последнее время практика тушения пожаров в резервуарах характеризуется интенсивным внедрением пленкообразующих пенообразователей с использованием перфторированных соединений. При этом действительно повышена эффективность пожаротушения нефтепродуктов. В подавляющем большинстве случаев новые ПО обеспечивают эффек-

тивное тушение пожаров с участием горючих жидкостей. На данный момент общепризнаны преимущества пленкообразующих ПО перед ПО общего назначения [3, 6].

Тем не менее для всех пенообразователей можно отметить общие недостатки: низкая стойкость пен под воздействием интенсивных тепловых потоков от пламени горячей жидкости, быстрое разрушение пен при контакте с полярными жидкостями и нагретыми твердыми поверхностями, трудности с подачей на большие расстояния, высокая стоимость эффективных ПО, наличие в их составе экологически опасных веществ, необходимость варьирования подачи низко- и среднекратной пены на разных этапах тушения, загрязнение пенообразователем горючих жидкостей. Для пленкообразующих ПО дополнительным недостатком является высокая стоимость систем подслоной подачи [7]. При этом массовое использование пленкообразующих ПО все же оказалось ограниченным по экологическим соображениям [8]. Исследователями показано, что перфторированные ПАВ в 150 раз токсичнее «биологически жесткого» ПО-6К и в 2500 раз стабильнее к естественной биодеградации. Такое положение, с учетом современных тенденций к ужесточению экологических требований, привело к декларации Агентством по охране окружающей среды США программы добровольного прекращения использования данных веществ и отказу компании 3М («Три Эм») от их выпуска [9].

Попытки создания новых экологически безопасных ПО пока не дали существенных результатов [10–11]. На основании вышесказанного можно заключить, что решение проблемы низкой эффективности существующих методов тушения горючих жидкостей в резервуарах требует разработки новых, более эффективных огнетушащих средств.

Основная часть. Альтернативным вариантом пожаротушения горючих жидкостей с целью замены воздушно-механических пен в процессах тушения некоторых классов соединений является использование гелеобразующих огнетушащих составов (ГОС) [12]. ГОС представляют собой двухкомпонентную систему со смешиванием реагентов в целевой области во время подачи. Реагенты подобраны так, чтобы при смешивании образовывался стойкий нетекущий гелеобразный слой. Непосредственно для подачи на поверхность жидкости ГОС не применим из-за высокой плотности образующегося геля. Для обеспечения плавучести гелеобразного слоя на жидкостях предложено использовать легкий негорючий неорганический носитель – гранулированное пеностекло, которое имеет кажущуюся плотность меньше, чем плотность жидких углеводородов [13–14].

Процесс пожаротушения жидкостей в соответствии с предложенным механизмом состоит из двух последовательных этапов подачи. На подготовительном этапе осуществляется подача плавучего легкого носителя на поверхность жидкости требуемым слоем. При этом гранулированное пеностекло (ПС) из-за диффузионных затруднений ограничивает выход паров в зону горения, а также уменьшает температуру поверхности в соответствии с массой и теплоемкостью поданного гранулированного пеностекла. На основном этапе происходит распыление на слой плавающего пеностекла компонентов ГОС. На поверхности легкого носителя происходит смесеобразование и реакция между поданными реагентами с образованием слабопроницаемого огнетушащего геля. Таким образом формируется бинарный огнетушащий слой, состоящий из легкого носителя (пеностекла) и изолирующего гелеобразного слоя, что уменьшает концентрацию паров жидкости над его поверхностью. При концентрации паров меньше, чем нижний концентрационный предел распространения пламени, горение прекращается [15].

Изолирующие свойства гелеобразного слоя экспериментально установлены в работе [16]: при толщине цельного слоя геля 1,4 мм наблюдается замедление испарения паров жидких углеводородов ряда алканов в 30 раз. В процессе подачи распыленных компонентов геля сквозь пламя возникают сложности, связанные с испарением воды из растворов реагентов и наличием интенсивных восходящих конвективных потоков газовой смеси продуктов горения, паров и воздуха. Снижение скорости конвективных потоков достигается предварительным нанесением слоя легкого носителя на поверхность жидкости. Легкий носитель кроме этого замедляет и сам процесс испарения за счет создания диффузионных затруднений и уменьшения эффективной площади испарения. Установлено, что при температуре $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ слой гранулированного пеностекла 4,5 см замедляет скорость испарения бензина в 1,4 раза, а с наращиванием слоя до 13,5 см – в 5,6 раза. В работе [16] влияние толщины слоя ПС на скорость испарения жидкостей во время горения не исследовано. Поскольку лимитирующей стадией процесса горения жидкости является ее испарение, то скорость этого процесса определяется скоростью испарения, а следовательно, именно толщина слоя легкого носителя будет определять интенсивность горения в момент подачи геля.

Поэтому целью исследований является экспериментальное определение массовой скорости выгорания жидких алканов в условиях наличия нанесенного на их поверхность плавучего слоя гранулированного ПС, при котором достигается гарантированное тушение гелем с невозможностью повторного воспламенения. В качестве горючих жидкостей выбраны представители ряда алканов: пентан, гептан, октан, декан и додекан. Параметры их пожарной опасности и испарения приведены в таблице 1. Первые две жидкости являются низкокипящими ($T_{\text{кип.}} < 100\text{ }^{\circ}\text{C}$), октан, декан и додекан относятся к высококипящим. Все рассмотренные алканы, кроме додекана, относятся к классу легковоспламеняющихся жидкостей ($T_{\text{всп.}} < 61\text{ }^{\circ}\text{C}$). Все приведенные жидкости являются компонентами различных моторных топлив. Так, гептан и октан содержатся в больших количествах в бензине. Декан присутствует в значительных количествах в керосине.

Таблица 1. – Параметры пожарной опасности и испарения жидкостей ряда алканов

Алкан	Температура, $^{\circ}\text{C}$			
	кипения, $t_{\text{кип}}$	вспышки, $t_{\text{всп.}}$	воспламенения, $t_{\text{воспл}}$	самовоспламенения, $t_{\text{св}}$
Пентан	36	-44	-34	286
Гептан	98	-4	-4	223
Октан	126	14	19	215
Декан	174	47	66	230
Додекан	216	77	103	202

Результаты. В эксперименте были определены скорости выгорания жидких алканов со свободных поверхностей и при разных толщинах нанесенного легкого носителя – пеностекла. Эксперимент проводили по следующей методике: 250 мл жидкости заливали в металлическую емкость цилиндрической формы с внутренним диаметром 11,2 см (поверхность испарения $S = 98,5\text{ см}^2$). Это позволяло создать слой жидкости толщиной $\sim 2,5\text{ см}$. После поджигания паров жидкости устанавливалось диффузионное горение на поверхности испарения емкости, далее гравиметрическим методом определялась потеря массы жидкости в процессе выгорания. Взвешивание осуществлялось с помощью электронных весов непрерывного взвешивания ТНВ-600. Точность взвешивания составляла 0,01 г. Измерения проводились при температуре окружающего воздуха (18 ± 1) $^{\circ}\text{C}$. В опытах с пеностеклом слой легкого носителя равномерно насыпался на горящую поверхность после двух минут свободного горения жидкости. Значения убыли массы фиксировались после двух минут от момента окончания засыпки ПС. Измерения убыли массы проводились в течение трех минут. Затем насыпалась новая порция ПС, и процедура повторялась. Максимальная высота слоя ПС в эксперименте составила 12 см.

Количественно массовая скорость выгорания жидкости (V_m) по результатам эксперимента определяется из соотношения:

$$V_m = \frac{\Delta m}{\tau S}, \quad \text{г}/(\text{с} \cdot \text{м}^2), \quad (1)$$

где Δm – изменение массы жидкости в результате ее горения, г; τ – время горения, с; S – площадь поверхности жидкости, м^2 .

По результатам эксперимента исходя из соотношения (1) рассчитали массовые скорости выгорания жидких алканов, которые приведены в таблице 2.

Таблица 2. – Массовые скорости выгорания углеводородных жидкостей (V_m) для разных толщин слоя пеностекла (h)

Алкан	Массовая скорость выгорания, V_m , $\text{г}/(\text{с} \cdot \text{м}^2)$, при толщине слоя пеностекла h, см						
	0 см	2 см	4 см	6 см	8 см	10 см	12 см
Пентан	17,8	15,2	13,9	10,9	8,1	5,4	4,1
Гептан	9,8	10	9,5	5,5	4,1	1,7	0,3
Октан	9,1	8,6	8,5	2,0	1,0	0	0
Декан	7,4	6,5	4,1	1,4	0	0	0
Додекан	6,2	5,4	2,2	0	0	0	0

Обсуждение. Анализ приведенных данных позволяет установить закономерности процесса выгорания жидких углеводородов ряда алканов и сделать вывод об эффективно-

сти применения пеностекла для комплексного использования виде бинарного слоя для целей тушения пожаров класса В.

Данные таблицы 2 показывают, что с увеличением высоты слоя ПС массовая скорость выгорания жидкостей ряда алканов снижается, что говорит об охлаждающей и изолирующей роли легкого носителя в процессе тушения.

Изолирующая роль пеностекла определяется тем, что слой пеностекла создает диффузионные затруднения для поступления паров жидкостей в зону горения. Одновременно наличие пеностекла на поверхности уменьшает эффективную площадь испарения. Охлаждающая роль пеностекла проявляется в момент подачи и связана с тем, что около половины поданной массы гранулированного пеностекла погружается в горячий поверхностный слой жидкого углеводорода, прогретого излучением пламени. С последним эффектом связан следующий охлаждающий фактор, действие которого определяется наличием слоя пеностекла, не погрузившегося в углеводород. Этот слой экранирует дальнейший прогрев излучением жидкости. Пропорционально снижению температуры поверхности жидкого углеводорода уменьшается интенсивность испарения, а соответственно, и интенсивность горения. Для высококипящих углеводородов (жидкости второго рода) снижается скорость нарастания гомотермического слоя, который при наличии отстоянного слоя воды может вызвать выброс [15].

При наращивании слоя пеностекла согласно данным эксперимента горение декана и додекана прекращается при достижении толщины слоя 8 см, а горение октана – при 10 см; горение пентана и гептана не прекращается при толщине слоя ПС 12 см.

Анализируя влияние толщины слоя ПС на испарение жидкостей в условиях отсутствия и наличия горения можно прийти к выводу, что в условиях горения слой пеностекла замедляет испарение многократно больше, чем при отсутствии горения. Так, слой ПС толщиной 10 см замедляет испарение пентана в процессе горения в шесть раз интенсивнее, чем в случае без горения. Это подтверждает двухфакторность действия пеностекла на скорость испарения алканов: если на процесс испарения влияют только диффузионные затруднения (изолирующее действие), то при горении возникает эффект экранирования прогрева поверхности от излучения пламени (теплоизолирующее действие).

Визуальные наблюдения процесса горения жидких алканов с наличием слоя ПС показывают, что при толщине слоя ПС более 7 см высота пламени и скорость конвективных потоков над поверхностью слоя ПС незначительны. В случае пентана и гептана при толщине слоя ПС 12 см наблюдаются лишь очаги локального горения с периодическим проскакиванием пламени вглубь слоя ПС. В этом случае оказалось легко достигнуть прекращения горения паров пентана. Например, установлено, что гашения можно достичь подачей распыленной воды в течение 1 с. Аналогичный результат имеет место при импульсной подаче ГОС или действию воздушного потока со срывом пламени. После прекращения горения бензина любым из описанных способов, оно вновь возникает при воздействии источника зажигания. При таком слое пеностекла для октана горение прекращается. При последующем действии источника зажигания происходит однократная вспышка без продолжения горения. Для более тяжелых жидких алканов после прекращения горения в результате нанесения слоя ПС воздействие открытого огня не приводит ни к вспышке, ни к горению.

Заключение. Слой гранулированного пеностекла 7–10 см на порядок уменьшает массовую скорость выгорания жидких углеводородов ряда алканов. Это дает возможность снизить скорость конвективных потоков над поверхностью горячей жидкости до уровня, позволяющего успешно подавать компоненты гелеобразующей системы в виде распыленных струй.

Нанесение слоя пеностекла 4–6 см позволяет достигнуть прекращения горения высококипящих жидкостей. Для пентана и гептана слой пеностекла 12 см позволяет снизить интенсивность горения до уровня, при котором его можно ликвидировать импульсной подачей ГОС, распыленной воды или воздуха (срыв пламени).

ЛИТЕРАТУРА

1. Campbell, R. Fires at Outside Storage Tanks [Electronic resource] / R. Campbell // Report National fire protection association: August. – 2014. – Mode of access: <https://www.nfpa.org/News-and-Research/Fire-statistics-and-reports>. – Date of access: 28.06.2018.
2. Hylton, J.G. U.S. Fire Department Profile [Electronic resource] / J.G. Hylton // Report National fire protection association: April 2017. – 39 p. – Mode of access: <https://www.nfpa.org/-/media/Files/News-and-Research/Fire-statistics/Fire-service/osfdprofile.pdf>. – Date of access: 28.06.2018.

3. Боровиков, В. Гасіння пожеж у резервуарах для зберігання нафти і нафтопродуктів / В. Боровиков // Пожежна та техногенна безпека. – 2015. – № 11 (26). – С. 28–29.
4. General Foam Information [Electronic resource] // U.S. Chemguard association. August 2017. – 6 p. – Mode of access: <http://www.chemguard.com/about-us/documents-library/foam-info/general.htm>. – Date of access: 28.06.2018.
5. Fire Fighting Foam Principles and Ethanol-Blended Fuel. 2016. – 20 p. [Electronic resource]. – Mode of access: http://www.ncdoi.com/OSFM/RPD/PT/Documents/Coursework/Ethanol/Module5_ParticipantManuals.pdf. – Date of access: 28.06.2018.
6. Статут дій у надзвичайних ситуаціях органів управління та підрозділів Оперативно-рятувальної служби. – Київ: МНС України, 2012. – 42 с.
7. Волков, Р.С. Особенности тушения жидких топлив и органических жидкостей распыленной водой / Р.С. Волков, И.С. Войтков, О.И. Высокоморная // Пожаровзрывобезопасность. – 2016. – Т. 25, № 4. – С. 68–75.
8. Бочаров, В.В. Использование перфторированных ПАВ в пенообразователях – «второе пришествие». Галогенорганика с наилучшим сценарием развития для обитателей земли / В.В. Бочаров // Пожаровзрывобезопасность. – 2013. – Т. 22, № 10. – С. 75–82.
9. Seam, J. Fire fighting foams with perfluorechemicals – Environmental review [Electronic resource] / J. Seam. – 2013. – 75 p. – Mode of access: http://www.hemmingfire.com/news/get_file.php3/id/287/file/Seow_WA-DEC_PFCs_Firefighting_Foam_final_version_7June2013.pdf. – Date of access: 28.06.2018.
10. Amankeldi, F. Composite Foaming Agents on the Basis of High-Molecular Natural Surfactants / F. Amankeldi, Z. Ospanova, K. Musabekov // Colloids Interfaces. – 2018. – Vol. 2. – № 4. – P. 2–8. DOI: <https://doi.org/10.3390/colloids2010002>
11. Patino, J.M. Implications of interfacial characteristics of food foaming agents in foam formulations / J.M. Patino, C.C. Sanchez, M.R. Nico // Adv. Colloid Interface Sci. – 2008. – Vol. 140. – № 2. – P. 95–113.
12. Способ тушения пожара и состав для его осуществления: пат. РФ 2264242 / П.Ф. Борисов, В.Е. Росоха, Ю.А. Абрамов, А.А. Киреев, А.В. Бабенко. – Оpubл. 20.11.2005.
13. Popov, M. Performance of Lightweight Concrete based on Granulated Foamglass / M. Popov, M.L. Zakrevskaya, V. Vaganov // Sci. Eng. – 2017. – Vol. 96, № 1. – P. 1–7.
14. Limbachiya, M. Performance of granulated foam glass concrete / M. Limbachiya, M.S. Meddah, M.S. Fotiadou // Construction and Building Materials. – 2011. – Vol. 28, № 1. – P. 759–768. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.10.052>
15. Тарахно, О.В. Теорія розвитку та припинення горіння. Практикум: у 2 ч. [Електронний ресурс] / О.В. Тарахно, Д.Г. Трегубов, К.В. Жернокльов [та ін.]. – Харків: НУЦЗУ, 2010. – 822 с. – Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/3231>. – Дата доступу: 28.06.2018.
16. Дадашов, И.Ф. Экспериментальное исследование изолирующих свойств гелеобразных слоев по отношению к парам органических токсичных жидкостей / И.Ф. Дадашов // Проблемы гражданского захисту. – 2017. – Вып. 25. – С. 22–27.
17. Дадашов, И.Ф. Экспериментальное исследование влияния толщины слоя гранулированного пеностекла на горение органических жидкостей / И.Ф. Дадашов // Проблемы пожарной безопасности. – 2018. – Вып. 43. – С. 38–44.

INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF THE LAYER THICKNESS OF A GRANULATED FOAM GLASS ON THE LIQUIDS COMBUSTION OF THE SERIES OF ALKANES

Ilgar Dadashov, PhD in Technical Sciences

Academy of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Azerbaijan, Baku, Azerbaijan

Purpose. The change in the intensity of burning of liquid alkanes is studied upon accumulation of granulated non-combustible material on their surface, which has a density less than that of liquid. The purpose of the study is to determine the value of the thickness of the foam glass layer, which guarantees gel quenching with the impossibility of re-ignition.

Methods. Combustion of liquid alkanes with the presence and absence of a floating incombustible layer under conditions of a laboratory model focal point, which is made in the form of a reservoir with an evaporation surface of 98.5 cm², is studied. The mass burnup rate of hydrocarbons is determined by the results of the mass change during the burnout process.

Findings. It is established that the mass burning rate of alkanes decreases with increasing thickness of the foam glass layer. The effect of the cessation of combustion of high-boiling alkanes (decane, dodecane) was noted when the thickness of the foamed glass layer reached 8 and 6 cm; for octane, a layer of foam glass of 10 cm is required. Low-boiling alkanes (pentane, heptane) do not extinguish at a thickness of the foamed glass layer of 12 cm. The application of foamed glass under the specified conditions accelerates quenching and guarantees the impossibility of re-ignition.

Application field of research. This study forms a new direction in the firefighting of flammable liquids and shows the possibility of effective quenching of liquid hydrocarbons without the use of foams. As a result, the environmental performance of the extinguishing process is improved.

Conclusions. The application of a foam glass layer of 4-6 cm allows achieving the cessation of combustion of high-boiling liquids. For pentane and heptane, a layer of foam glass 12 cm allows to reduce the intensity of combustion to a level at which combustion can be eliminated by impulsive feeding of the gelling system with the impossibility of re-ignition.

Keywords: mass burning rate, alkanes, pentane, heptane, octane, decane, dodecane, fires in tanks, granulated foam glass, gel, re-ignition.

(The date of submitting: July 5, 2018)

REFERENCES

1. Campbell R. Fires at Outside Storage Tanks. *Report National fire protection association*: August 2014, available at: <https://www.nfpa.org/News-and-Research/Fire-statistics-and-reports> (accessed: June 28, 2018).
2. Hylton J.G. U.S. Fire Department Profile. *Report National fire protection association*: April 2017. 39 p, available at: <https://www.nfpa.org/-/media/Files/News-and-Research/Fire-statistics/Fire-service/osfdprofile.pdf> (accessed: June 28, 2018).
3. Borovikov V. Gasinnja pozhezh u rezervuarah dlja zberigannja nafty i naftoproduktiv [Extinguishing fires in tanks with oil and oil products]. *Pozhezhnna ta tehnogenna bezpeka*. 2015. No. 11 (26). Pp. 28–29. (ua)
4. *General Foam Information*. U.S. Chemguard association. August 2017. 6 p, available at: <http://www.chemguard.com/about-us/documents-library/foam-info/general.htm> (accessed: June 28, 2018).
5. *Fire Fighting Foam Principles and Ethanol-Blended Fuel*. 2016. 20 p., available at: http://www.ncdoi.com/OSFM/RPD/PT/Documents/Coursework/Ethanol/Module5_ParticipantManuals.pdf (accessed: June 28, 2018).
6. *Statut dij u nadzvyhajnyh sytuacijah organiv upravlinnja ta pidrozdiliv Operatyvno-rjatuval'noi' sluzhby* [Statute of actions in emergencies of the authorities and units of the Rescue Service]. Kyi'v: MNS Ukrainy. 2012. 42 p. (ua)
7. Volkov R.S., Voytkov I.S., Vysokomornaya O.I. Osobennosti tusheniya zhidkikh topliv i organicheskikh zhidkostey raspylennoy vodoy [Features of fire extinguishing of liquid fuels and organic liquids by sprayed water]. *Pozharovzryvobezopasnost'*. 2016. Vol. 25, No. 4. Pp. 68–75. (rus)
8. Bocharov V.V. Ispol'zovanie perftorirovannykh PAV v penoobrazovatelyakh – «vtoroe prishestvie». Galogenorganika s naikhudshim stsenariem razvitiya dlya obitateley zemli [The use of perfluorinated surfactants in blowing agents is the second coming. Halogenorganika with the worst development scenario for the inhabitants of the earth]. *Pozharovzryvobezopasnost'*. 2013. Vol. 22, No. 10. Pp. 75–82. (rus)

9. Seam J. *Fire fighting foams with perfluorechemicals - Environmental revive*. 2013. 75 p, available at: http://www.hemmingfire.com/news/get_file.php3/id/287/file/Seow_WA-DEC_PFCs_Firefighting_Foam_final_version_7June2013.pdf (accessed: June 28, 2018).
10. Amankeldi F., Ospanova Z., Musabekov K. Composite Foaming Agents on the Basis of High-Molecular Natural Surfactants. *Colloids Interfaces*. 2018. Vol. 2, No. 4. Pp. 2–8. DOI: <https://doi.org/10.3390/colloids2010002>
11. Patino J.M., Sanchez C.C., Nico M.R. Implications of interfacial characteristics of food foaming agents in foam formulations. *Adv. Colloid Interface Sci*. 2008. Vol. 140, No. 2. Pp. 95–113.
12. Borisov P.F., Rosokha V.E., Abramov Yu.A., Kireev A.A., Babenko A.V. *Sposob tusheniya pozhara i sostav dlya ego osushchestvleniya* [Fire extinguishing method and composition for its implementation]: patent RU No. 2264242, IPC A 62 C 5/033. Owner: Academy of Fire Safety of Ukraine. Publ. November 20, 2005. (rus)
13. Popov M., Zakrevskaya M.L., Vaganov V. Performance of Lightweight Concrete based on Granulated Foamglass. *Sci. Eng*. 2017. Vol. 96, No. 1. Pp. 1–7.
14. Limbachiya M., Meddah M.S., Fotiadou M.S. Performance of granulated foam glass concrete. *Construction and Building Materials*. 2011. Vol. 28, No. 1. Pp. 759–768. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.10.052>
15. Tarakhno O.V., Tregubov D.G., Zhernokl'ov K.V. et al. *Teoriya rozvitku ta pripinennya gorinnya. Praktikum* [Theory of Development and Extinguishing of Combustion]: workshop in 2 parts. Harkiv: NUCZU, 2010. 822 p., available at: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/3231> (accessed: June 28, 2018). (ua)
16. Dadashov I.F. Eksperimental'noe issledovanie izoliruyushchikh svoystv geleobraznykh sloev po otnosheniyu k param organicheskikh toksichnykh zhidkostey [Experimental study of the insulating properties of gel-like layers in relation to vapors of organic toxic fluids]. *Problemy cyvil'nogo zahystu*. 2017. Iss. 25. Pp. 22–27. (rus)
17. Dadashov I.F. Eksperimental'noe issledovanie vliyaniya tolshchiny sloya granulirovannogo penostekla na gorenje organicheskikh zhidkostey [Experimental research the influence of thickness of the layer of a granulated film glow on the burning of organic liquids]. *Problemy pozharnoy bezopasnosti*. 2018. Iss. 43. Pp. 38–44. (rus)