

Д. А. КОРОЛЬЧЕНКО, канд. техн. наук, заведующий кафедрой комплексной безопасности в строительстве, Московский государственный строительный университет (Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26; e-mail: ICA_kbs@mgsu.ru)

А. Ф. ШАРОВАРНИКОВ, д-р техн. наук, профессор кафедры комплексной безопасности в строительстве, Московский государственный строительный университет (Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26; e-mail: ICA_kbs@mgsu.ru)

И. П. ПАРФЕНЕНКО, инженер кафедры комплексной безопасности в строительстве, Московский государственный строительный университет (Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26; e-mail: ICA_kbs@mgsu.ru)

УДК 614.84.664

СОВМЕСТНОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ФТОРСОДЕРЖАЩИХ И УГЛЕВОДОРОДНЫХ ПЕНООБРАЗОВАТЕЛЕЙ ДЛЯ ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ НЕФТЕПРОДУКТОВ

Результаты экспериментальных исследований показали возможность совместного применения углеводородных (УПО) и фторированных (ФПО) пенообразователей для тушения пожаров нефтепродуктов подачей пены низкой кратности на горящую поверхность углеводорода. Показано, что наиболее целесообразно применять смешанные пенообразователи, содержащие 10 % об. фторированного компонента, что позволяет обеспечить инертность пены к смешению с нефтепродуктом при подаче ее на горящий объект с большой высоты и значительного расстояния. Установлено, что небольшие добавки ФПО к УПО вызывают существенные изменения как поверхностной активности, так и огнетушащей эффективности пены.

Ключевые слова: фторированный пенообразователь; углеводородный пенообразователь; тушение пожаров нефтепродуктов; огнетушащая эффективность пены; время тушения; удельный расход.

DOI: 10.18322/PVB.2016.25.07.63-69

Тушение пожаров нефтепродуктов осуществляется с использованием пены, полученной на основе углеводородных (УПО) и фторсодержащих (ФПО) пенообразователей [1–6]. Углеводородные пенообразователи отличаются высокой пенообразующей способностью и биологической разлагаемостью, но пена на их основе, смешиваясь с нефтепродуктом при падении на горящую поверхность, утрачивает огнетушащую эффективность. Преимуществом углеводородных пенообразователей является низкая стоимость, поэтому, несмотря на более высокую эффективность фторсинтетических пенообразователей, УПО применяют более часто.

Фторсодержащие пенообразователи образуют пену, которая устойчива к действию нефтепродуктов, поэтому ее можно подавать не только на горящую поверхность с большой высоты, но и в основание резервуара, непосредственно в углеводород [6–10].

На одном предприятии существуют объекты, тушение пожара на которых требует применения пены и низкой кратности, обладающей инертностью к нефтепродуктам, и высокой кратности, используемой для заполнения машинных залов и высотных хранилищ, поэтому, как правило, на объектах хранятся пенообразователи нескольких марок [11–14]. По-

скольку при тушении пожара используется весь запас пенообразователя, возникает вопрос о совместном применении фторированных и углеводородных пенообразователей для получения пены низкой и высокой кратности.

Цель настоящей работы — экспериментально и теоретически исследовать возможность совместного применения углеводородных и фторсодержащих пенообразователей.

Для этого проводили экспериментальное исследование огнетушащей эффективности пены, полученной из водных растворов смешанных пенообразователей, и поверхностно-активных свойств последних.

Предварительные измерения поверхностного натяжения водных растворов пенообразователей позволяют определить их природу, т. е. фторсодержащие они или углеводородные [15]. Если поверхностное натяжение водного раствора более 25 мН/м, то это углеводородный пенообразователь, а если менее 20 мН/м, то фторированный пенообразователь. Чем чище фторированный пенообразователь (т. е. чем меньше содержит добавок углеводородных ПАВ), тем выше его межфазное натяжение на границе с гептаном. Так, межфазное натяжение более 5,5 мН/м

указывает на фторированный состав хорошего качества. Если межфазное натяжение менее 1,5 мН/м, то это состав на углеводородной основе с примесями полупродуктов синтеза ПАВ.

Для исследований возможности совместного применения УПО и ФПО в настоящей работе использовали углеводородный пенообразователь на основе натриевых солей первичных алкилсульфатов, с длиной углеродной цепи C_8-C_{10} и фторированное соединение — перфторкарбоксибетаин без уточнения химической структуры [16–18]. В связи с неопределенностью химического состава исходные вещества характеризовались комплексом поверхностных и межфазных натяжений, от которых зависит их функциональное действие.

Экспериментальные измерения базировались на методах испытания пенообразователей, предназначенных для тушения пожаров, в соответствии с ГОСТ Р 50588–2012. Основным методом исследования являлось экспериментальное определение времени тушения и удельного расхода водного раствора пенообразователя в зависимости от интенсивности подачи пены непосредственно на горящую поверхность нефтепродукта, в качестве которого использовали бензин и для сравнительных испытаний — *n*-гептан [19].

Условием растекания водного раствора по поверхности углеводорода являлось снижение свободной энергии системы после образования водной пленки (т. е. поверхностная энергия углеводорода с водной пленкой, которая характеризуется более низкой величиной поверхностного натяжения, чем у исходного углеводорода). Коэффициент растекания водного раствора по гептану K_{10} и гептана по раствору K_{01} рассчитывали по соотношениям [1, 13]:

$$K_{10} = \sigma_0 - (\sigma_{10} + \sigma_1); \quad (1)$$

$$K_{01} = \sigma_1 - (\sigma_{10} + \sigma_0), \quad (2)$$

где σ_0 , σ_1 — поверхностное натяжение соответственно водного раствора и горючей жидкости; σ_{10} — межфазное натяжение на границе *раствор – углеводород*.

Результаты экспериментальных измерений для УПО, ФПО и смешанного пенообразователя (УПО с добавками ФПО) представлены на рис. 1 и 2.

Сопоставление кривых, характеризующих растекание в системе *водный раствор – углеводород*, представлено на рис. 2, б.

На диаграмме рис. 3 проиллюстрировано влияние концентрации ФПО на коэффициент растекания при различной концентрации рабочего раствора.

На рис. 4 приведены результаты сравнительных испытаний на огнетушащую эффективность пен, полученных на основе углеводородного и фторированного пенообразователей. Стрелками показаны опти-

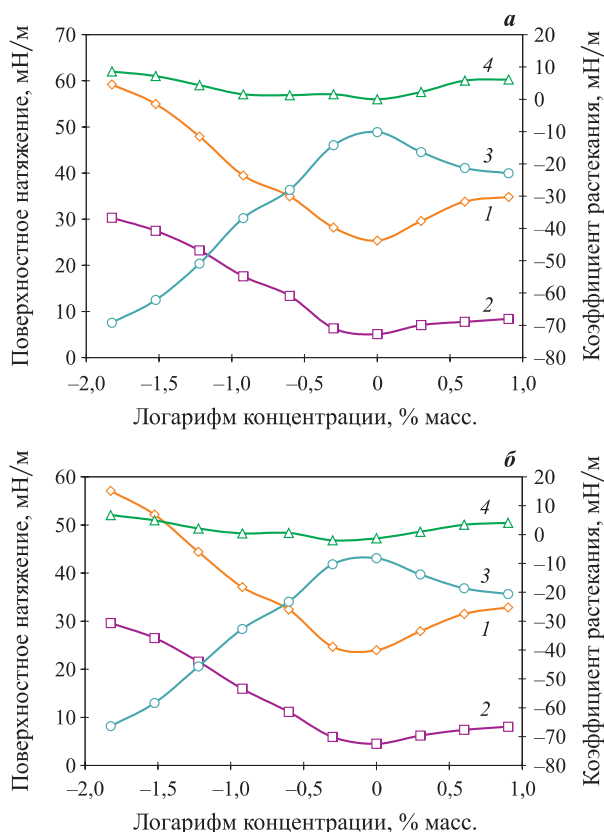


Рис. 1. Изотермы поверхностного (1) и межфазного (2) натяжения растворов УПО (а) и ФПО (б) и коэффициент растекания раствора по гептану (3) и гептана по раствору (4)

мальная интенсивность подачи пены и минимальный удельный расход раствора пенообразователя.

Описание результатов эксперимента по определению зависимости времени тушения τ_t (с) и удельного расхода пенообразующего раствора Q (кг/м²) от интенсивности подачи пены J (кг/(м²·с)) проводили по формулам, полученным в работе [20]:

$$\tau_t = -\frac{\rho h_0}{J_{кр}} \left[1 + \left(\frac{J}{J_{кр}} \right)^n \right] \ln \left(1 + \frac{J_{кр}}{J} \right); \quad (3)$$

$$Q = -\frac{J \rho h_0}{J_{кр}} \left[1 + \left(\frac{J}{J_{кр}} \right)^n \right] \ln \left(1 + \frac{J_{кр}}{J} \right), \quad (4)$$

где ρ — плотность тушащего слоя, кг/м³;

h_0 — минимальная толщина изолирующего слоя, м;

$J_{кр}$ — критическая интенсивность подачи, кг/(м²·с);

n — показатель степени, характеризующий темп нарастания средней толщины тушащего слоя.

Описание результатов, полученных с помощью формул (3) и (4), проводят путем построения соответствующих кривых зависимости времени тушения и минимального удельного расхода пенообразующего раствора от интенсивности подачи пены.

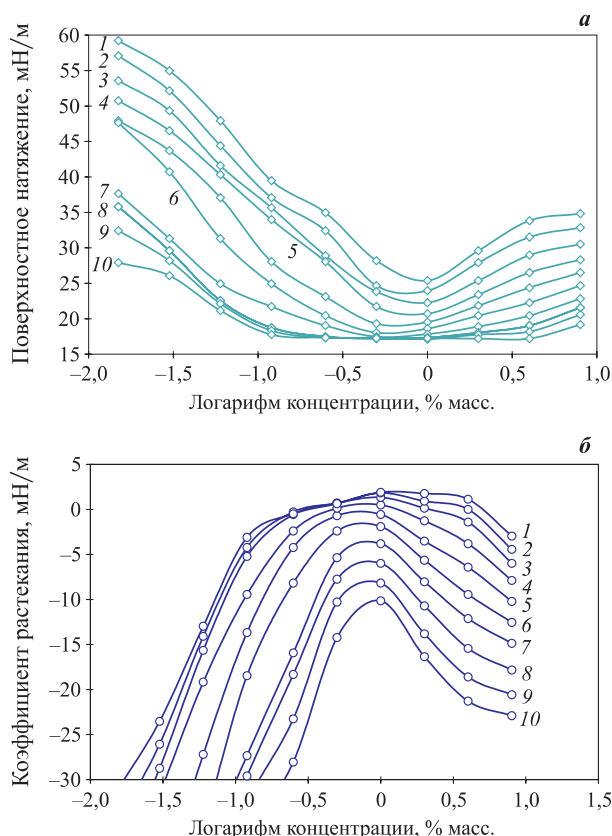


Рис. 2. Поверхностное натяжение (а) и коэффициент растекания (б) водных растворов смешанного пенообразователя, содержащего добавки ФПО, % масс.: 1 — 0; 2 — 1,0; 3 — 2,0; 4 — 3,0; 5 — 10,0; 6 — 20,0; 7 — 50,0; 8 — 70,0; 9 — 90,0; 10 — 100,0

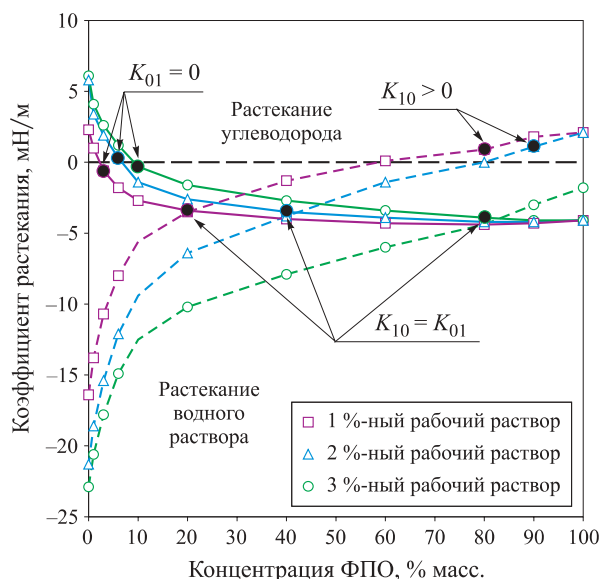


Рис. 3. Влияние концентрации ФПО на коэффициенты растекания в системе водный раствор — углеводород при различной концентрации рабочего раствора, % масс.

Для всех испытанных смешанных растворов, содержащих в определенных соотношениях УПО и ФПО, проводили расчеты по данным формулам.

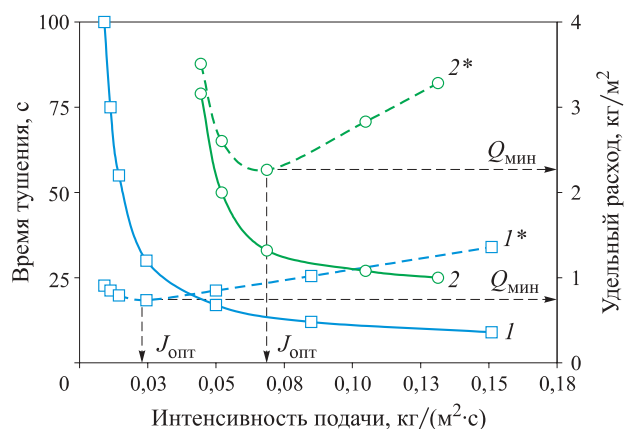


Рис. 4. Зависимость времени тушения (I , 2) и удельного расхода (I^* , 2^*) пенообразователей фторированной (I , I^*) и углеводородной (2 , 2^*) природы: $J_{\text{опт}}$ — оптимальная интенсивность; $Q_{\text{мин}}$ — минимальный удельный расход

Зависимость времени тушения от интенсивности подачи раствора (рис. 5, а) синхронно, почти эквидистантно, смещается в область меньших интенсивностей подачи пенообразующего раствора. По мере приближения интенсивности подачи к критической величине время тушения резко возрастает.

Кривые зависимости удельного расхода от интенсивности подачи проходят через минимум, который хорошо выражен, несмотря на изменение концентрации водного раствора пенообразователя за счет добавки ФПО. Одновременно снижается минимальный удельный расход пенообразующего раствора, использованного на тушение пламени бензина.

На рис. 5, б стрелками показано положение оптимальной интенсивности, величина которой снижается для растворов с большим содержанием ФПО.

Судя по результатам исследований, небольшие добавки ФПО к УПО вызывают значительные изменения как поверхностной активности (рис. 6), так и огнетушащей эффективности пен (рис. 7). Основное изменение параметров происходит при достижении концентрации ФПО 10 % об. При этом обеспечивается нулевое значение коэффициента растекания углеводорода по водному пенообразующему раствору. В этом же диапазоне происходит резкое снижение оптимальной интенсивности подачи и минимального удельного расхода пенообразующего раствора, использованного на тушение пламени как бензина, так и гептана.

Толщина изолирующего слоя пены (см. рис. 6) снижается с 8 до 3 мм при достижении концентрации ФПО около 10 % об.

Благодаря описанию результатов эксперимента по формулам (3) и (4) удалось выявить характер изменения толщины изолирующего слоя пены и ее абсолютное значение, которое изменялось от 8 до 2 мм. Последнее значение указывает на пленкообразующий характер действия фторированного

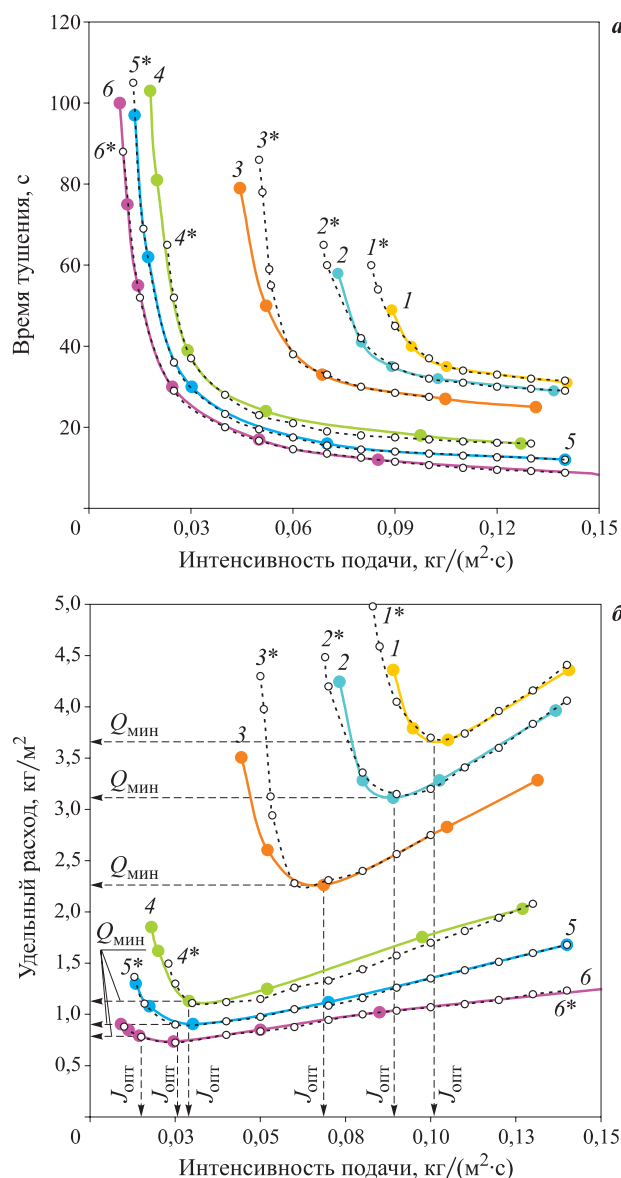


Рис. 5. Зависимости времени тушения пламени бензина (а) и удельного расхода пенообразователя (б), полученные экспериментально (1–6) и расчетом (1*–6*) по формулам (3) и (4), от интенсивности подачи при содержании ФПО в пенообразующей смеси, % об.: 1, 1* — 0; 2, 2* — 1,0; 3, 3* — 3,0; 4, 4* — 10,0; 5, 5* — 20,0; 6, 6* — 50,0

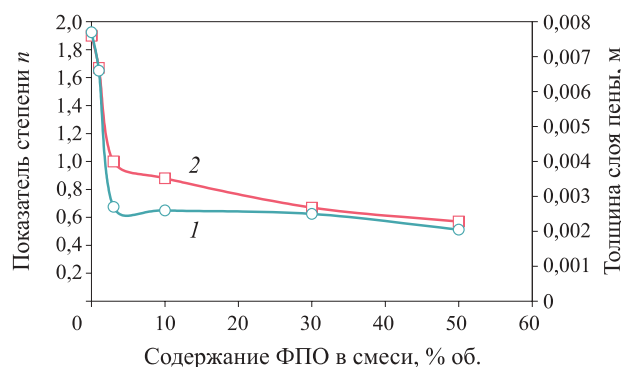


Рис. 6. Влияние состава смеси УПО и ФПО на толщину изолирующего слоя пены (1) и показатель степени n по формуле (3) (2) при тушении пламени бензина

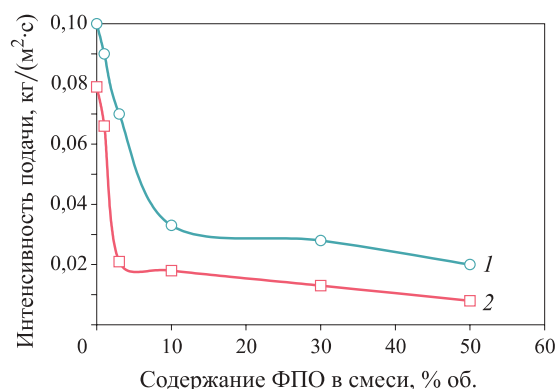


Рис. 7. Зависимость оптимальной (1) и критической (2) интенсивности подачи пенообразующего раствора при тушении пламени бензина пеной, полученной из смеси УПО и ФПО, от содержания ФПО в смеси

пенообразователя. При размере пенных пузырьков 0,2–0,3 мм изолирующий слой углеводородной пены состоит из 50–100 слоев пенных пузырьков, а в случае фторированной пены — только из 10–20 слоев.

Такой характер изменения толщины изолирующего слоя пены указывает на переход режима тушения пламени пеной в режим снижения испарения углеводорода за счет образования водной пленки, содержащей монослой пузырьков пены.

Выводы

Результаты экспериментальных исследований показали возможность совместного применения углеводородных и фторированных пенообразователей для тушения пожаров нефтепродуктов подачей пены низкой кратности на горящую поверхность углеводорода. Наиболее целесообразно применять смешанные пенообразователи, содержание фторированного компонента в которых составляет 10 % об., что позволяет обеспечить инертность пены к смешению с нефтепродуктом при подаче на горящий объект с большой высоты и значительного расстояния. Для предотвращения повторного воспламенения после тушения пламени целесообразно использовать смешанный пенообразователь с содержанием ФПО от 40 до 50 % об., что обеспечит равенство коэффициентов растекания в системе *раствор – горючее* и повышенную устойчивость пены.

Небольшие добавки ФПО к УПО существенно влияют как на поверхностную активность, так и на огнетушащую эффективность пены. Основное изменение данных параметров происходит при концентрации ФПО 10 % об. При этом обеспечивается нулевое значение коэффициента растекания углеводорода по водному пенообразующему раствору. В этом же диапазоне происходит резкое снижение оптимальной интенсивности и минимального удельного расхода пенообразующего раствора, использованного на тушение пламени как бензина, так и гептана.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шароварников А. Ф., Молчанов В. П., Воевода С. С., Шароварников С. А. Тушение пожаров нефти и нефтепродуктов. — М. : Изд. дом “Калан”, 2002. — 448 с.
2. Патент US4472286A США. МПК A62D1/02. Foaming agents for fire-fighting / R. A. Falk; заявитель и патентообладатель Ciba-Geigy Corporation. — № US 06/547,168; заявл. 31.10.1983; опубл. 18.09.1984.
3. Патент US4060132A США. МПК A62D1/00. Fire fighting with thixotropic foam / Peter J. Chiesa, Jr.; заявитель и патентообладатель Philadelphia Suburban Corporation. — Заявл. 12.03.1975; опубл. 29.11.1977.
4. Патент EP0049442A ЕРО. МПК A62D1/00. Aktiengesellschaft foam extinguishing concentrate and use thereof / Michael A. Schreuder, James R. McBride, Sandra J. Rosenthal; заявитель и патентообладатель Schreuder Michael A., McBride James R., Rosenthal Sandra J. — № EP 12/750,039; заявл. 03.03.2011; опубл. 03.03.2009.
5. Kovalchuk N. M., Trybala A., Starov V., Matar O., Ivanova N. Fluoro- vs hydrocarbon surfactants: Why do they differ in wetting performance? // *Advances in Colloid and Interface Science*. — August 2014. — Vol. 210. — P. 65–71. DOI: 10.1016/j.cis.2014.04.003.
6. Корольченко Д. А., Шароварников А. Ф. Основные параметры процесса тушения пламени нефтепродуктов пеной низкой кратности // *Пожаровзрывобезопасность*. — 2014. — Т. 23, № 7. — С. 65–73. DOI: 10.18322/PVB.2014.23.07.65-73.
7. Korzeniewski S., Cortina T. Firefighting foams — Reebok redux // *Industrial Fire Journal*. — April 2008. — P. 18–20.
8. Lang Xuqing, Liu Quanzhen, Gong Hong. Study of fire fighting system to extinguish full surface fire of large scale floating roof tanks // *Procedia Engineering*. — 2011. — Vol. 11. — P. 189–195. DOI: 10.1016/j.proeng.2011.04.646.
9. Cortina T. The safety & benefits of AFFF agents. Special analysis: Foam // *Industrial Fire Journal*. — June 2007. — P. 70–75.
10. Korolchenko D., Tusnin A., Trushina S., Korolchenko A. Physical parameters of high expansion foam used for fire suppression in high-rise buildings // *International Journal of Applied Engineering Research*. — 2015. — Vol. 10, No. 21. — С. 42541–42548.
11. Кокорин В. В., Романова И. Н., Хафизов Ф. Ш. Проблемы эффективного тушения пожаров вертикальных стальных резервуаров в слой горючего // *Нефтегазовое дело : электронный научный журнал*. — 2012. — № 3. — С. 255–260.
12. Сучков В. П., Ралюк В. В. Анализ причин и последствий пожаров в резервуарных парках ТЭК и мер по их устранению // *Безопасность в нефтегазовом комплексе. Материалы конференции*. — М., 2000. — С. 69.
13. Qinglin Zhang, Lu Wang, Yixing Bi, Dajun Xu, Huiqiang Zhi, Peifang Qiu. Experimental investigation of foam spread and extinguishment of the large-scale methanol pool fire // *Journal of Hazardous Materials*. — 2015. — Vol. 287. — P. 87–92. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2015.01.017.
14. Ranjbar H., Shahraki B. H. Effect of aqueous film-forming foams on the evaporation rate of hydrocarbon fuels // *Chemical Engineering and Technology*. — 2013. — Vol. 36, Issue 2. — P. 295–299. DOI: 10.1002/ceat.201200401.
15. Корольченко Д. А., Шароварников А. Ф., Дегаев Е. Н. Лабораторная методика определения изолирующих свойств пены на поверхности гептана // *Пожаровзрывобезопасность*. — 2014. — Т. 23, № 4. — С. 72–76. DOI: 10.18322/PVB.2014.23.04.72-76.
16. Патент US5085786A США. МПК A62D1/02. Aqueous film-forming foamable solution useful as fire extinguishing concentrate / Roger R. Alm, Richard M. Stern; заявитель и патентообладатель Minnesota Mining and Manufacturing Company. — № US 07/645,557; заявл. 24.01.1991; опубл. 04.02.1992.
17. Патент US5225095A США. МПК A62D1/02. Foam concentrate / Louis R. DiMaio, Peter J. Chiesa, Jr.; заявитель и патентообладатель Chubb National Foam, Inc. — № US 07/739,648; заявл. 02.08.1991; опубл. 06.07.1993.
18. Патент US7155347A США. МПК A62C35/02. Pre-inerting method and apparatus for preventing large volume contained flammable fuels from exploding / John Going, Jef Snoeys; заявитель и патентообладатель Fike Corporation. — № US 10/893,852; заявл. 09.07.2004; опубл. 26.12.2006.
19. Корольченко Д. А., Шароварников А. Ф. Универсальность механизмов тушения пламени различными огнетушащими веществами // *Пожаровзрывобезопасность*. — 2014. — Т. 23, № 11. — С. 84–88.

20. Корольченко Д. А., Шароварников А. Ф. Анализ типового соотношения для описания зависимости времени тушения горючих жидкостей и удельного расхода различных огнетушащих веществ от интенсивности их подачи // Пожаровзрывобезопасность. — 2016. — Т. 25, № 3. — С. 66–76. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.03.66-76.

Материал поступил в редакцию 25 марта 2016 г.

Для цитирования: Корольченко Д. А., Шароварников А. Ф., Парфененко И. П. Совместное применение фторсодержащих и углеводородных пенообразователей для тушения пожаров нефтепродуктов // Пожаровзрывобезопасность. — 2016. — Т. 25, № 7. — С. 63–69. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.07.63-69.

English

COMBINED APPLICATION OF FLUORINE CONTAINING AND HYDROCARBON FOAMING AGENTS FOR EXTINGUISHING FIRES OF OIL PRODUCTS

KOROLCHENKO D. A., Candidate of Technical Sciences, Head of Department of Complex Safety in Construction, Moscow State University of Civil Engineering (Yaroslavskoye Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation; e-mail address: ICA_kbs@mgsu.ru)

SHAROVARNIKOV A. F., Doctor of Technical Sciences, Professor of Department of Complex Safety in Construction, Moscow State University of Civil Engineering (Yaroslavskoye Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation; e-mail address: ICA_kbs@mgsu.ru)

PARFENENKO I. P., Engineer of Department of Complex Safety in Construction, Moscow State University of Civil Engineering (Yaroslavskoye Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation; e-mail address: ICA_kbs@mgsu.ru)

ABSTRACT

Purpose. This article describes the results of experimental and theoretical studies on possibility of combined application of fluorine containing and hydrocarbon foaming agents for extinguishing fires of oil products by supplying of low expansion foam onto the surface of burning hydrocarbon.

Methods. Results of comparative tests of fire extinguishing efficiency of foams, generated from hydrocarbon and fluorinated foam agents, are given. Tests were conducted in two modes: firstly foam was given from small height, and then — from increased height.

Findings. The nature of foaming agent can be determined by measurement of the complex values of surface and interfacial tensions on a border between aqueous solution of foaming agents and oil product. Measurement of surface tension of the aqueous solutions allows determining which foaming agent is fluorine containing and which is hydrocarbon. Dependence of extinguishing time on flow rate of solution moves synchronously, almost equidistantly, to the area of minor values of flow rate. Value of extinguishing time sharply increases together with approximation of the flow rate value up to critical. The curve of dependencies of specific consumption and flow rate pass through the minimum point, which is clearly expressed despite the change of concentration of aqueous solution of the fluorine containing foaming agent. The value of minimum specific consumption of the foaming solution, used to extinguish the flame of gasoline, simultaneously decreases. Application of mixed foaming agents, containing not more than 10 % of fluorinated components, is most appropriate. It allows providing inertness for intermix of oil product and foam, supplying onto the burning object from great height and distance. To prevent reignition it is necessary to use the mixed foaming agent, containing fluorinated components from 40 to 50 %. It provides equality of spreading coefficients in the solution — fuel system and increased stability of foam. The main change of surface activity and fire extinguishing efficiency occurs when the concentration of fluorinated components reaches the level of 10 %. Thus, the value of spreading coefficient of hydrocarbon over aqueous foam-forming solution becomes zero. Values of optimum flow rate and minimum specific consumption of aqueous solution, used to extinguish gasoline or heptane flame, sharply decrease in the same range.

Research application field. The obtained results are recommended for substantiating the means of fire extinguishment of oil and oil spills.

Conclusions. Results of experimental studies have shown the possibility of combined application of hydrocarbon and fluorine containing foaming agents for extinguishing fires of oil products by supplying of low expansion foam onto the surface of burning hydrocarbon.

Keywords: fluorine containing foaming agent; hydrocarbon foaming agent; oil product fires; foam extinguishing efficiency; extinguishing time; specific consumption.

REFERENCES

1. Sharovarnikov A. F., Molchanov V. P., Voevoda S. S., Sharovarnikov S. A. *Fire extinguishing of oil and oil products*. Moscow, Kalan Publ., 2002. 448 p. (in Russian).
2. Falk R. A. *Foaming agents for fire-fighting*. Patent US, no. 4472286A, publ. date 18.09.1984.
3. Peter J. Chiesa, Jr. *Fire fighting with thixotropic foam*. Patent US, no. 4060132A, publ. date 29.11.1977.
4. Michael A. Schreuder, James R. McBride, Sandra J. Rosenthal. *Aktiengesellschaft foam extinguishing concentrate and use thereof*. Patent EP, no. 0049442A, publ. date 03.03.2009.
5. Kovalchuk N. M., Trybala A., Starov V., Matar O., Ivanova N. Fluoro- vs hydrocarbon surfactants: Why do they differ in wetting performance? *Advances in Colloid and Interface Science*, August 2014, vol. 210, pp. 65–71. DOI: 10.1016/j.cis.2014.04.003.
6. Korolchenko D. A., Sharovarnikov A. F. Main parameters of extinguishing of the oil flame by low expansion foam. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2014, vol. 23, no. 7, pp. 67–73 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2014.23.07.65-73.
7. Korzeniowski S., Cortina T. Firefighting foams — Reebok redux. *Industrial Fire Journal*, April 2008, pp. 18–20.
8. Lang Xuqing, Liu Quanzhen, Gong Hong. Study of fire fighting system to extinguish full surface fire of large scale floating roof tanks. *Procedia Engineering*, 2011, vol. 11, pp. 189–195. DOI: 10.1016/j.proeng.2011.04.646.
9. Cortina T. The safety & benefits of AFFF agents. Special analysis: Foam. *Industrial Fire Journal*, June 2007, pp. 70–75.
10. Korolchenko D., Tusnin A., Trushina S., Korolchenko A. Physical parameters of high expansion foam used for fire suppression in high-rise buildings. *International Journal of Applied Engineering Research*, 2015, vol. 10, no. 21, pp. 42541–42548.
11. Kokorin V. V., Romanova I. N., Khafizov F. Sh. The problems of effective fire suppression of vertical steel storage tanks in the fuel layer. *Oil and Gas Business. The Electronic Scientific Journal (Neftegazovoye delo. Elektronnyy nauchnyy zhurnal)*, 2012, no. 3, pp. 261–266.
12. Suchkov V. P., Ralyuk V. V. The analysis of reasons and consequences of fires in tank batteries of the FPS (fuel-and-power sector) and measures for their elimination. In: *Safety in a Fuel-and-Power Sector. Proceedings of Conference*. Moscow, 2000, p. 69 (in Russian).
13. Qinglin Zhang, Lu Wang, Yixing Bi, Dajun Xu, Huiqiang Zhi, Peifang Qiu. Experimental investigation of foam spread and extinguishment of the large-scale methanol pool fire. *Journal of Hazardous Materials*, 2015, vol. 287, pp. 87–92. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2015.01.017.
14. Ranjbar H., Shahraki B. H. Effect of aqueous film-forming foams on the evaporation rate of hydrocarbon fuels. *Chemical Engineering and Technology*, 2013, vol. 36, issue 2, pp. 295–299. DOI: 10.1002/ceat.201200401.
15. Korolchenko D. A., Sharovarnikov A. F., Degaev E. N. Laboratory standard technique for insulating properties of foam on heptane surface. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2014, vol. 23, no. 4, pp. 72–76 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2014.23.04.72-76.
16. Roger R. Alm, Richard M. Stern. *Aqueous film-forming foamable solution useful as fire extinguishing concentrate*. Patent US, no. 5085786A, publ. date 04.02.1992.
17. Louis R. DiMaio, Peter J. Chiesa, Jr. *Foam concentrate*. Patent US, no. 5225095A, publ. date 06.07.1993.
18. John Going, Jef Snoeys. *Pre-inerting method and apparatus for preventing large volume contained flammable fuels from exploding*. Patent US, no. 7155347A, publ. date 26.12.2006.
19. Korolchenko D. A., Sharovarnikov A. F. Universality of mechanisms of fire suppression by various extinguishing agents. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2014, vol. 23, no. 11, pp. 84–88 (in Russian).
20. Korolchenko D. A., Sharovarnikov A. F. Analysis of a typical relation used for description of dependence of the extinguishing time of flammable liquids and the specific consumption of various extinguishing agents on their flow rate. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2016, vol. 25, no. 3, pp. 66–76 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2016.25.03.66-76.

For citation: Korolchenko D. A., Sharovarnikov A. F., Parfenenko I. P. Combined application of fluorine containing and hydrocarbon foaming agents for extinguishing fires of oil products. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2016, vol. 25, no. 7, pp. 63–69. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.07.63-69.