

А. КАТТГЕ, заместитель начальника Управления пожарной охраны г. Гамбурга (Am Feenteich 50, г. Гамбург, 22085, Германия; e-mail: andreas.kattge@feuerwehr.hamburg.de)

Е. Н. ДЕГАЕВ, аспирант 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

ВЛИЯНИЕ ВЫСОТЫ ПОДАЧИ ПЕНЫ НА ОПТИМАЛЬНУЮ ИНТЕНСИВНОСТЬ ПОДАЧИ И МИНИМАЛЬНЫЙ УДЕЛЬНЫЙ РАСХОД РАСТВОРА ПЕНООБРАЗОВАТЕЛЯ

Рассмотрены актуальные вопросы тушения пожаров нефтепродуктов в резервуарах и резервуарных парках подачи пены на горящую поверхность горючего с большого расстояния. Приведены результаты экспериментальных исследований, показывающие снижение огнетушащей эффективности углеводородных пенообразователей при увеличении высоты подачи пены. Выявлено, что пенообразователи с фторированными стабилизаторами сохраняют огнетушащую эффективность независимо от высоты и дальности подачи пены. Показано, что полученные результаты подтверждают мнение многих специалистов о невозможности замены фторированных пенообразователей углеводородными составами.

Ключевые слова: огнетушащая эффективность; тушение пламени горючих жидкостей; оптимальная интенсивность; пленкообразующий пенообразователь; коэффициент растекания; поверхностная активность.

DOI: 10.18322/PVB.2016.25.01.68-72

Применение пены низкой кратности для тушения пожаров аварийных разливов и осложненных пожаров нефтепродуктов обусловлено возможностью подачи пены с большого расстояния. Зачастую сильный тепловой поток от факела пламени не позволяет приблизиться к месту пожара для подачи в очаг пены средней и высокой кратности. В то же время применение пенообразователей, содержащих фторированные стабилизаторы, в том числе фторированных пленкообразующих, ограничено из-за экологических требований. Их предусматривается заменить углеводородными составами, которые в меньшей степени загрязняют окружающую среду, но уступают им по огнетушащей эффективности.

Цель данной работы — на модели резервуара провести эксперименты по тушению пламени нефтепродуктов при подаче пены с различной высоты (расстояние от пенослива до поверхности горячей жидкости). Марка пенообразователей дана в обобщенном виде, чтобы избежать упреков со стороны поставщиков пенообразователей. В экспериментах использовали пенообразователь фторсодержащий пленкообразующий и пенообразователь углеводородный. Пена, полученная из рабочих растворов обоих пенообразователей, соответствовала кратности $7,0 \pm 0,5$.

Испытания проводили на экспериментальной установке, описанной в работах [1–4]. Установка аналогична той, которая используется для сравнительной оценки огнетушащей эффективности пенообразователей при сертификации по ГОСТ Р 53280.2–2010. При испытаниях определяли зависимость удельного расхода пенообразователя и времени тушения от интенсивности подачи пены. Расстояние от сливного патрубка до горячей поверхности углеводорода варьировали по вертикали от 5 до 15 см. Пену подавали непосредственно на горящую поверхность. В качестве горючей жидкости использовали *n*-гептан, что позволяло получать воспроизводимые результаты.

Для подтверждения природы пенообразователя предварительно проводили измерение поверхностного и межфазного натяжения рабочих растворов на границе с гептаном. Для измерения поверхностного натяжения растворов пенообразователей использовали метод отрыва кольца. Данные испытания подтвердили природу поверхностно-активной основы пенообразователей. Для пленкообразующего пенообразователя коэффициент растекания по гептану должен быть больше 0, а поверхностное натяжение 17 мН/м, т. е. ниже, чем у гептана (20,3 мН/м).

© Каттге А., Дегаев Е. Н., 2016

Растворы углеводородных ПАВ имеют поверхностное натяжение порядка 30 мН/м, что заметно выше по сравнению с гептаном [5–8].

Коэффициент растекания водного раствора по гептану K_{10} и гептана по раствору K_{01} рассчитывали по соотношениям [1, 2]:

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

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

где σ_0 — поверхностное натяжение гептана, мН/м;
 σ_{10} — межфазное поверхностное натяжение на границе *раствор – гептан*, мН/м;
 σ_1 — поверхностное натяжение водного раствора на границе с воздухом, мН/м.

Результаты измерений поверхностной и межфазной активности для растворов обоих пенообразователей представлены на рис. 1 и 2.

Пленкообразующий фторсодержащий пенообразователь при концентрации водного раствора 1,0 % масс. и более имеет положительный коэффициент растекания водного раствора по гептану, что позволяет рабочим растворам самопроизвольно формировать водную пленку на поверхности гептана.

Коэффициент растекания водного раствора углеводородного пенообразователя по гептану имеет отрицательное значение. Это значит, что эти растворы не только не способны растекаться по гептану, но и преимущественно смачиваются гептаном, т. е. гептан растекается по поверхности пенных пленок. Коэффициент растекания гептана по водному раствору пенных пленок положителен во всей области концентраций углеводородного пенообразователя в водном растворе. При подаче на горящую поверхность нефтепродукта пена в результате падения углубляется в горючую жидкость, огнетушательная эффективность углеводородного пенообразователя при этом снижается.

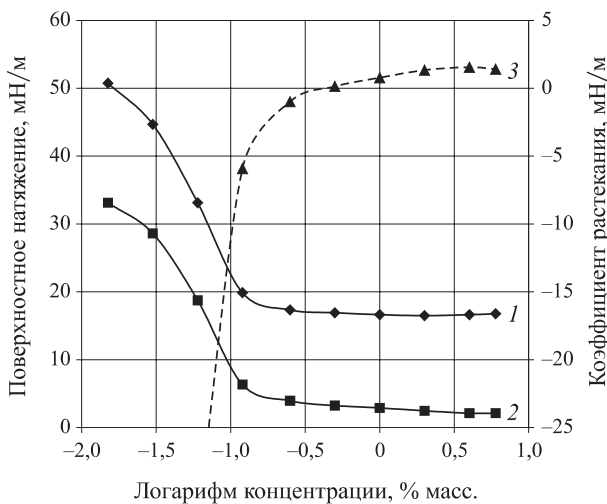


Рис. 1. Изотермы поверхностного (1) и межфазного (2) натяжения и коэффициента растекания раствора по гептану (3) для пленкообразующего пенообразователя

Результаты экспериментальных измерений удельного расхода и времени тушения пламени гептана для углеводородного пенообразователя представлены на рис. 3, а для пены, полученной из пленкообразующего пенообразователя, — на рис. 4.

В экспериментах установлено, что огнетушательная эффективность пен из углеводородных пенообразователей сильно снижается по мере увеличения высоты подачи (падения) пены, а фторированных пен — наоборот, увеличивается.

При этом минимальный удельный расход пены из углеводородного пенообразователя увеличивается с 2,2 до 3,7 кг/м², а оптимальная интенсивность возрастает с 0,065 до 0,120 кг/(м²·с).

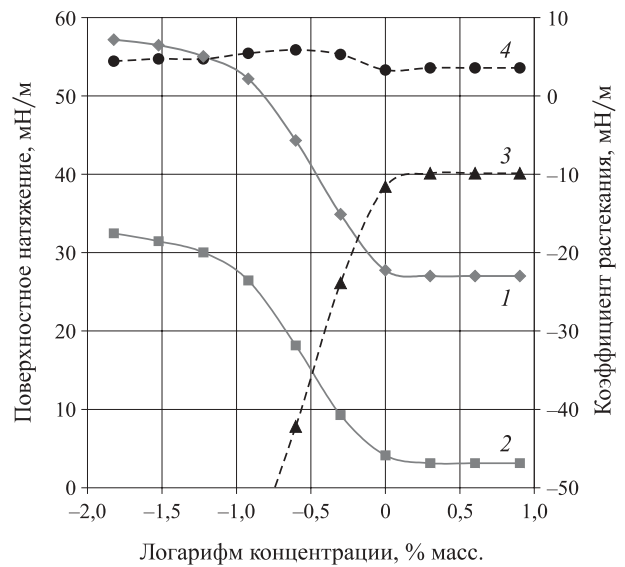


Рис. 2. Изотермы поверхностного (1) и межфазного (2) натяжения и коэффициента растекания раствора по гептану (3) и гептана по раствору (4) для углеводородного пенообразователя

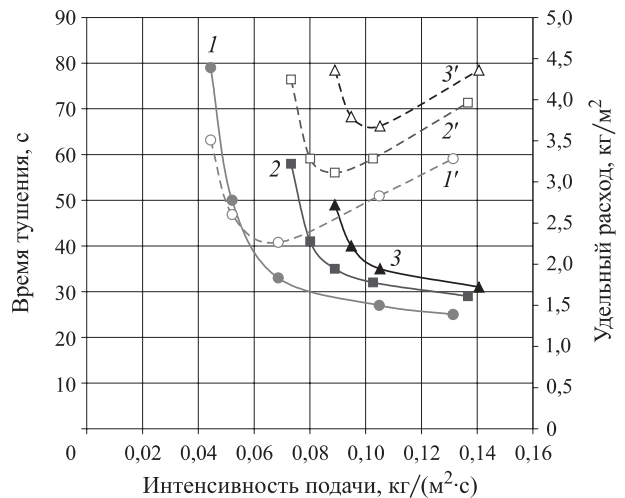


Рис. 3. Зависимость времени тушения пламени гептана (1–3) и удельного расхода углеводородного пенообразователя (1'–3') от интенсивности подачи пены и высоты ее падения: 1, 1' — 5 см; 2, 2' — 10 см; 3, 3' — 15 см

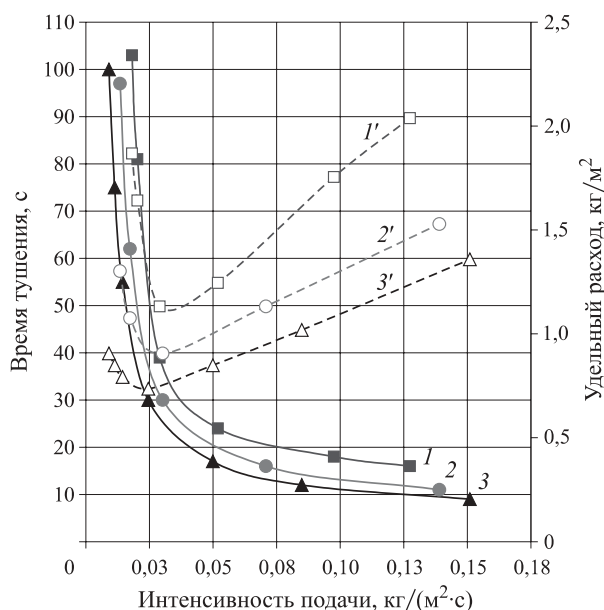


Рис. 4. Зависимость времени тушения пламени гептана (1–3) и удельного расхода пенкообразующего пенообразователя (1'–3') от интенсивности подачи пены и высоты ее падения: 1, 1' — 5 см; 2, 2' — 10 см; 3, 3' — 15 см

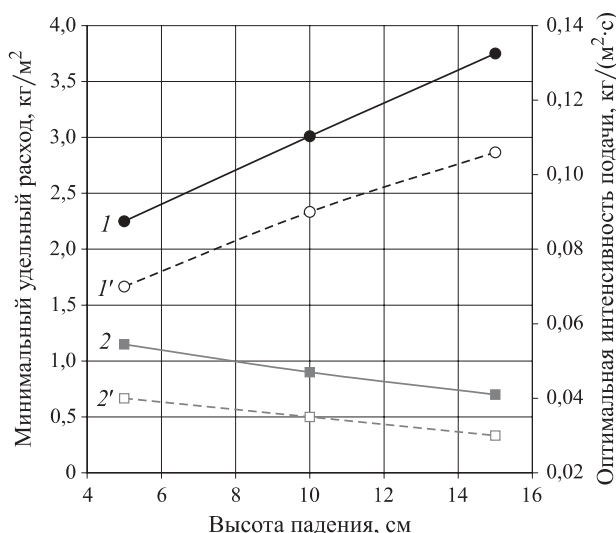


Рис. 5. Зависимость минимального удельного расхода (1, 2) и оптимальной интенсивности подачи пены (1', 2'), полученной из углеводородного (1, 1') и пенкообразующего (2, 2') пенообразователей, от высоты падения пены при тушении пламени гептана

По мере увеличения высоты падения пены из фторсодержащего пенообразователя минималь-

ный удельный расход снижается с 1,2 до 0,7 кг/м², а оптимальная интенсивность подачи — с 0,04 до 0,03 кг/(м²·с). Иллюстрация влияния высоты падения пены на основные параметры процесса тушения представлена на рис. 5.

При испытаниях были получены ожидаемые результаты, что объясняется поверхностной активностью этих пенообразователей (см. рис. 1 и 2). Водные растворы фторированного пенообразователя имеют положительное значение коэффициента растекания по гептану, начиная с 1 %-ной концентрации, в то время как водные растворы углеводородного пенообразователя имеют положительные значения коэффициента растекания гептана по раствору по всей области.

При контакте пены из углеводородного пенообразователя с гептаном углеводород смачивает пенные пленки и растекается по ним, что приводит к контактному разрушению пенной структуры. Пена из фторированного пенообразователя при контакте с гептаном самопроизвольно формирует водную пленку на поверхности углеводорода.

Чем больше высота падения пены, тем сильнее она ударяется о поверхность гептана, что приводит к ускоренному выделению раствора из пенных пленок и способствует быстрому растеканию пены. Для углеводородных пен удар о поверхность ведет к частичному погружению пены в гептан и ее загрязнению горючим. Кроме того, из-за положительного коэффициента растекания горючего по водному раствору движению пены противодействует поверхностное давление, направленное навстречу растекающейся пене.

Результаты измерений поверхностной активности водных растворов пенообразователей показывают, что пена из углеводородного пенообразователя не может использоваться для подслоной подачи в горящий гептан, поскольку гептан начнет растекаться по пенным пленкам, разрушая пену и смешиваясь с ней в процессе подъема к поверхности.

Полученные результаты подтверждают мнение специалистов о низкой огнетушащей эффективности пены, полученной из углеводородных пенообразователей, при подаче ее в виде компактных струй на большое расстояние [9–12].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шароварников А. Ф., Воевода С. С., Молчанов В. П. Современные средства и способы тушения пожаров нефтепродуктов. — М.: Калан, 2000. — 420 с.
2. 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.
3. Шароварников А. Ф., Корольченко Д. А. Тушение горючих жидкостей распыленной водой // Пожаровзрывобезопасность. — 2013. — Т. 22, № 11. — С. 70–74.

4. Шароварников А. Ф., Корольченко Д. А. Влияние дисперсности капель воды на эффективность тушения пожаров горючей жидкости // Пожаровзрывобезопасность. — 2013. — Т. 22, № 12. — С. 69–74.
5. Sharovarnikov A. F., Punchik G. I. Experimental determination of the strength of foams with high foam densities // Colloid Journal. — 1982. — Vol. 44, No. 1. — P. 180–182.
6. Bikerman J. J. Foams. — New York : Springer, 1973. DOI: 10.1007/978-3-642-86734-7.
7. Oil Tank Fire Extinguishing // Fire. — October, 1960. — No. 109. — P. 1–43.
8. Jho C. Spreading of aqueous solutions of a mixture of fluoro- and hydrocarbon surfactants on liquid hydrocarbon substrates // Journal of Colloid and Interface Science. — 1987. — Vol. 117, No. 1. — P. 139–148. DOI: 10.1016/0021-9797(87)90176-7.
9. Борковская В. Г., Агапов С. В. Стандарты и требования пожарной безопасности // Пожаровзрывобезопасность. — 2014. — Т. 23, № 11. — С. 7–14.
10. Борковская В. Г. Новые требования профессиональных рисков в пожарной безопасности // Пожаровзрывобезопасность. — 2013. — Т. 22, № 12. — С. 9–15.
11. Корольченко Д. А., Дегаев Е. Н., Шароварников А. Ф. Горение гептана в модельном резервуаре // Пожаровзрывобезопасность. — 2015. — Т. 24, № 2. — С. 67–70.
12. Корольченко Д. А., Шароварников А. Ф., Дегаев Е. Н. Классификация пенообразователей для тушения пожаров нефтепродуктов по структуре коэффициента растекания рабочего раствора по углеводороду // Пожаровзрывобезопасность. — 2015. — Т. 24, № 8. — С. 75–80. DOI: 10.18322/PVB.2015.24.08.75-80.

Материал поступил в редакцию 30 ноября 2015 г.

Для цитирования: *Kattge A., Degayev E. N. Влияние высоты подачи пены на оптимальную интенсивность подачи и минимальный удельный расход раствора пенообразователя // Пожаровзрывобезопасность. — 2016. — Т. 25, № 1. — С. 68–72. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.01.68-72.*

English

INFLUENCE OF TOTAL HEAD OF FOAM ON OPTIMUM INTENSITY AND MINIMUM PARTICULAR EXPENSE SOLUTION SIZE OF FOAMER

KATTGE A. (FEUERWEHR), Deputy Chief of Fire Department
(Am Feenteich 50, Hamburg, 22085, Federal Republic of Germany;
e-mail address: andreas.kattge@feuerwehr.hamburg.de)

DEGAEV E. N., Postgraduate Student 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

The issues addressed included questions and prospects for use of the hydrocarbonic and fluorinated film-forming foamers for fire suppression of emergency passages and the fires of oil products in tanks at supply of foam from long distance. The results of the experiment show that hydrocarbonic foams with increase in falling height cause strong decrease in efficiency of fire suppression. The blow of foam about a surface conducts to partial immersions in oil product that leads to foam pollution by fuel. It is shown that using hydrocarbonic foamers with growth of total head from 5 to 15 cm a particular expense size and optimum intensity 2 times increase. While the fluorinated foams show increase inefficiency of fire suppression by increase in total head which is explained by superficial activity — aqueous solutions of film-forming foamers have positive value of spreading coefficient. The higher the drainage is, the stronger the foam and hydrocarbon surface hit that leads to the accelerated release of solution from foamy films more strongly and promotes fast foam spreading. Experiments confirm expert's opinion about low efficiency of the foams, received their hydrocarbonic foamers when giving with compact streams on long distance. Therefore replacing of fluorinated film-forming foamers with hydrocarbonic ones, which decay after application well, is premature.

Keywords: fire extinguishing efficiency; suppression of a flame of combustible liquids; optimum intensity; film-forming foamer; spreading coefficient; superficial activity.

REFERENCES

1. Sharovarnikov A. F., Voevoda S. S., Molchanov V. P. *Sovremennyye sredstva i sposoby tusheniya pozharov nefteproduktov* [Modern means and methods for extinguishing oil fires]. Moscow, Kalan Publ., 2000. 420 p.
2. Korolchenko D. A., Sharovarnikov A. F., Degaev E. N. Laboratornaya metodika opredeleniya izoliruyushchikh svoystv peny na poverkhnosti heptana [Laboratory standard technique for insulating properties of foam on heptane surface]. *Pozharovzryvobezопасnost — Fire and Explosion Safety*, 2014, vol. 23, no. 4, pp. 72–76.
3. Sharovarnikov A. F., Korolchenko D. A. Tusheniye goryuchikh zhidkostey raspynlennoy vodoy [Extinguishing of combustible liquid by atomized water]. *Pozharovzryvobezопасnost — Fire and Explosion Safety*, 2013, vol. 22, no. 11, pp. 70–74.
4. Sharovarnikov A. F., Korolchenko D. A. Vliyaniye dispersnosti kapel vody na effektivnost tusheniya pozharov goryuchey zhidkosti [Impact of dispersion of water drops on the efficiency of fire extinguishing combustible liquid]. *Pozharovzryvobezопасnost — Fire and Explosion Safety*, 2013, vol. 22, no. 12, pp. 69–74.
5. Sharovarnikov A. F., Punchik G. I. Experimental determination of the strength of foams with high foam densities. *Colloid Journal*, 1982, vol. 44, no. 1, pp. 180–182.
6. Bikerman J. J. *Foams*. New York, Springer, 1973. DOI: 10.1007/978-3-642-86734-7.
7. Oil Tank Fire Extinguishing. *Fire*, October, 1960, no. 109, pp. 1–43.
8. Jho C. Spreading of aqueous solutions of a mixture of fluoro- and hydrocarbon surfactants on liquid hydrocarbon substrates. *Journal of Colloid and Interface Science*, 1987, vol. 117, no. 1, pp. 139–148. DOI: 10.1016/0021-9797(87)90176-7.
9. Borkovskaya V. G., Agapov S. V. Standarty i trebovaniya pozharной bezопасnosti [Standards and requirements of fire safety]. *Pozharovzryvobezопасnost — Fire and Explosion Safety*, 2014, vol. 23, no. 11, pp. 7–14.
10. Borkovskaya V. G. Novyye trebovaniya professionalnykh riskov v pozharной bezопасnosti [New requirements professional risks in fire safety]. *Pozharovzryvobezопасnost — Fire and Explosion Safety*, 2013, vol. 22, no. 12, pp. 9–15.
11. Korolchenko D. A., Degaev E. N., Sharovarnikov A. F. Goreniye heptana v modelnom rezervuare [Combustion of heptane in a model tank]. *Pozharovzryvobezопасnost — Fire and Explosion Safety*, 2015, vol. 24, no. 2, pp. 67–70.
12. Korolchenko D. A., Sharovarnikov A. F., Degaev E. N. Klassifikatsiya penoobrazovateley dlya tusheniya pozharov nefteproduktov po strukture koeffitsienta rastekaniya rabocheho rastvora po uglevodrodu [Classification of foaming agents for extinguishing of fires of oil products taking into account the structure of spreading coefficient of working solution over hydrocarbon]. *Pozharovzryvobezопасnost — Fire and Explosion Safety*, 2015, vol. 24, no. 8, pp. 75–80. DOI: 10.18322/PVB.2015.24.08.75-80.

For citation: Kattge A. (Feuerwehr), Degaev E. N. Vliyaniye vysoty podachi peny na optimalnuyu intensivnost podachi i minimalnyy udelnyy raskhod rastvora penoobrazovatelya [Influence of total head of foam on optimum intensity and minimum particular expense solution size of foamer]. *Pozharovzryvobezопасnost — Fire and Explosion Safety*, 2016, vol. 25, no. 1, pp. 68–72. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.01.68-72.