

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

Е. Н. ДЕГАЕВ, аспирант кафедры комплексной безопасности в строительстве Московского государственного строительного университета (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 Московского государственного строительного университета (Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26; e-mail: ICA_kbs@mgsu.ru)

УДК 614.84.664

ОГNETУШАЩАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПЕН ИЗ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ АЛКИЛСУЛЬФАТОВ НАТРИЯ

Исследована огнетушащая эффективность пены низкой кратности из водных растворов алкилсульфатов натрия. Проведены исследования поверхностной активности водных растворов пенообразователей на границе с гептаном и на основе этих измерений рассчитаны коэффициенты растекания водного раствора по гептану и гептана по раствору. Показано, что поведение пены, полученной из растворов алкилсульфатов, при контакте с горящим гептаном заметно различается. Установлено, что огнетушащая эффективность гомологов в ряду алкилсульфатов натрия коррелирует с поверхностной активностью растворов этих ПАВ на границе с гептаном и воздухом.

Ключевые слова: огнетушащая эффективность; водные растворы алкилсульфатов натрия; коэффициент растекания водного раствора по гептану; поверхностная активность растворов ПАВ.

Начиная с 2000 г. особое внимание уделяется замене биологически жестких пенообразователей биоразлагаемыми, которые в меньшей степени наносят ущерб окружающей среде. К группе биологически мягких поверхностно-активных веществ (ПАВ) относятся алкилсульфаты натрия.

Цель данной работы — провести исследования огнетушащей эффективности пены низкой кратности, полученной из водных растворов алкилсульфатов натрия.

Для испытаний огнетушащей эффективности использовали стендовую методику, приведенную в ГОСТ Р 53280.2–2010 [1], а также методику, описанную в работе [2]. Каждое из испытанных веществ исследовалось на выявление поверхностной и межфазной активности на границе с углеводородом — гептаном. Измерения проводились методом отрыва кольца, который также представлен в ГОСТ Р 53280.2–2010 [1].

В качестве членов гомологического ряда использовали: этилгексилсульфат натрия; децилсульфат натрия; лаурилсульфат натрия; смесь алкилсульфатов с числом углеродных атомов 8–10, 12–14 и 12–18.

В настоящей работе сделана попытка сопоставить огнетушащую эффективность пен, полученных из данных веществ, с коэффициентами растекания водных растворов этих же веществ по поверхности гептана.

Учитывая определяющую роль растекания в обеспечении изолирующего действия пены, предварительно проводили исследования поверхностной активности водных растворов пенообразователей на границе с гептаном и на основе этих измерений рассчитывали коэффициенты растекания водного раствора по гептану K_{10} (мН/м) и гептана по раствору K_{01} (мН/м). Расчет проводили по известным соотношениям [3]:

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

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

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

Результаты комплексных измерений поверхностной активности перечисленных выше ПАВ представлены на рис. 1 и 2.

По мере увеличения молекулярной массы ПАВ повышается их поверхностная активность на границе с воздухом и гептаном и коэффициент растекания раствора по горящему постепенно увеличивается, хотя и остается отрицательным.

Поведение пены, полученной из растворов алкилсульфатов, при контакте с горящим гептаном за-

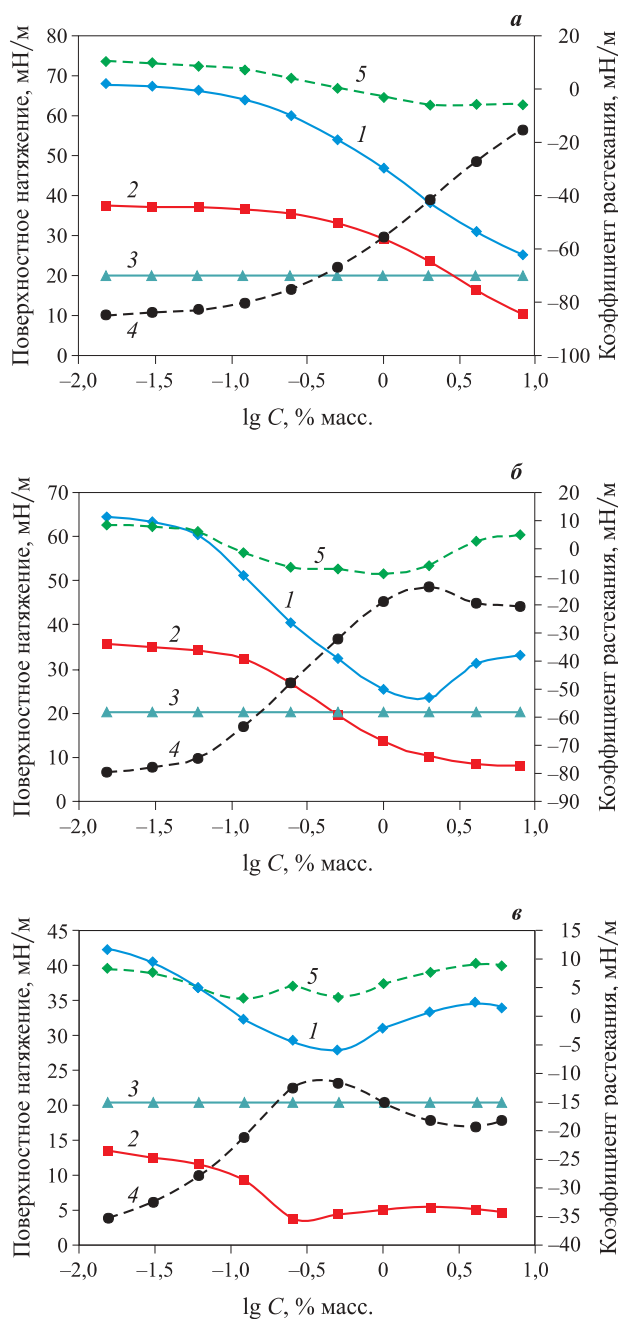


Рис. 1. Изотермы поверхностной активности водных растворов этилгексилсульфата (а), децилсульфата (б) и лаурилсульфата (в) натрия: 1 — поверхностное натяжение раствора; 2 — межфазное натяжение; 3 — поверхностное натяжение гептана; 4 — коэффициент растекания раствора по гептану; 5 — коэффициент растекания гептана по раствору

метно различается. Так, пены из растворов этилгексилсульфата натрия — гомолога с наименьшей молекулярной массой — заметно разрушаются по мере их нагревания горячей жидкостью в процессе растекания по горящему гептану (рис. 3). В результате пена, покрыв определенную площадь поверхности гептана в процессе ее подачи, останавливается и постепенно начинает “возвращаться” обратно. На самом деле, происходит прогрессирующее кон-

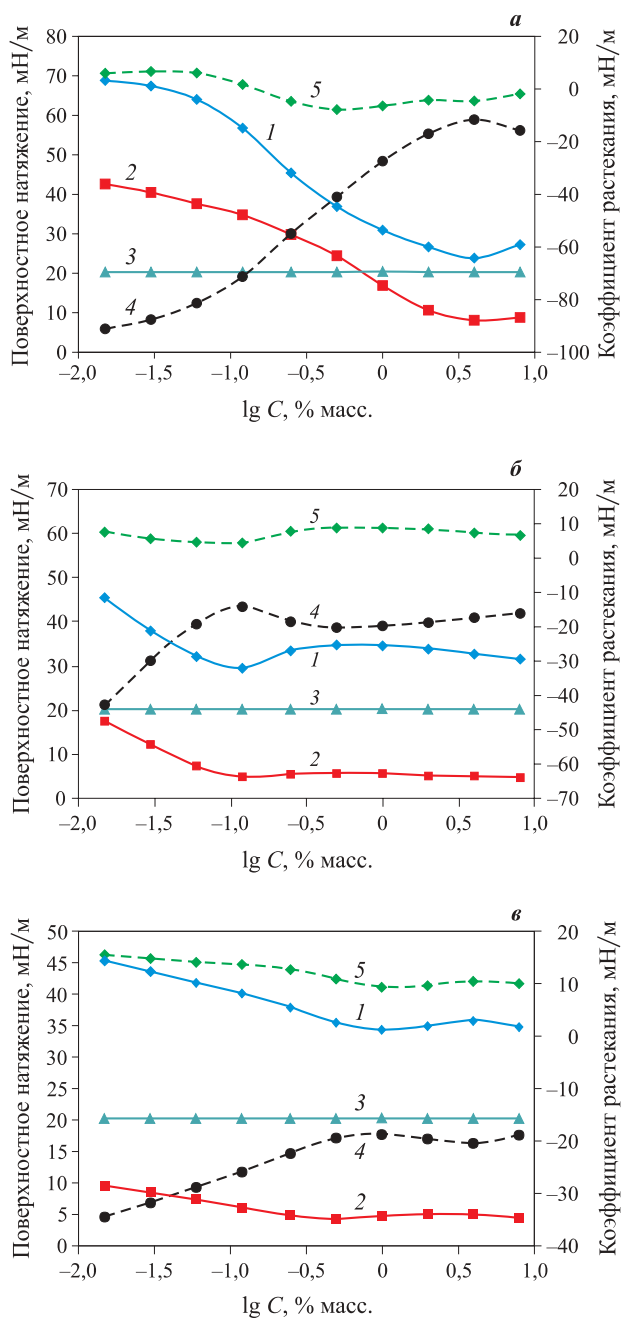


Рис. 2. Изотермы поверхностной активности водных растворов алкилсульфатов с числом углеродных атомов 8–10 (а), 12–14 (б) и 12–18 (в): 1 — поверхностное натяжение раствора; 2 — межфазное натяжение; 3 — поверхностное натяжение гептана; 4 — коэффициент растекания раствора по гептану; 5 — коэффициент растекания гептана по раствору

тактное разрушение пены. В этой ситуации скорость разрушения пены значительно превышает скорость ее подачи на поверхность горячей жидкости. Постепенно поверхность последней освобождается от пены, при этом не происходит даже локализации пламени, поскольку слой пены не достигает противоположного борта.

На этом примере можно отчетливо проследить роль коэффициента растекания. В этом случае вли-

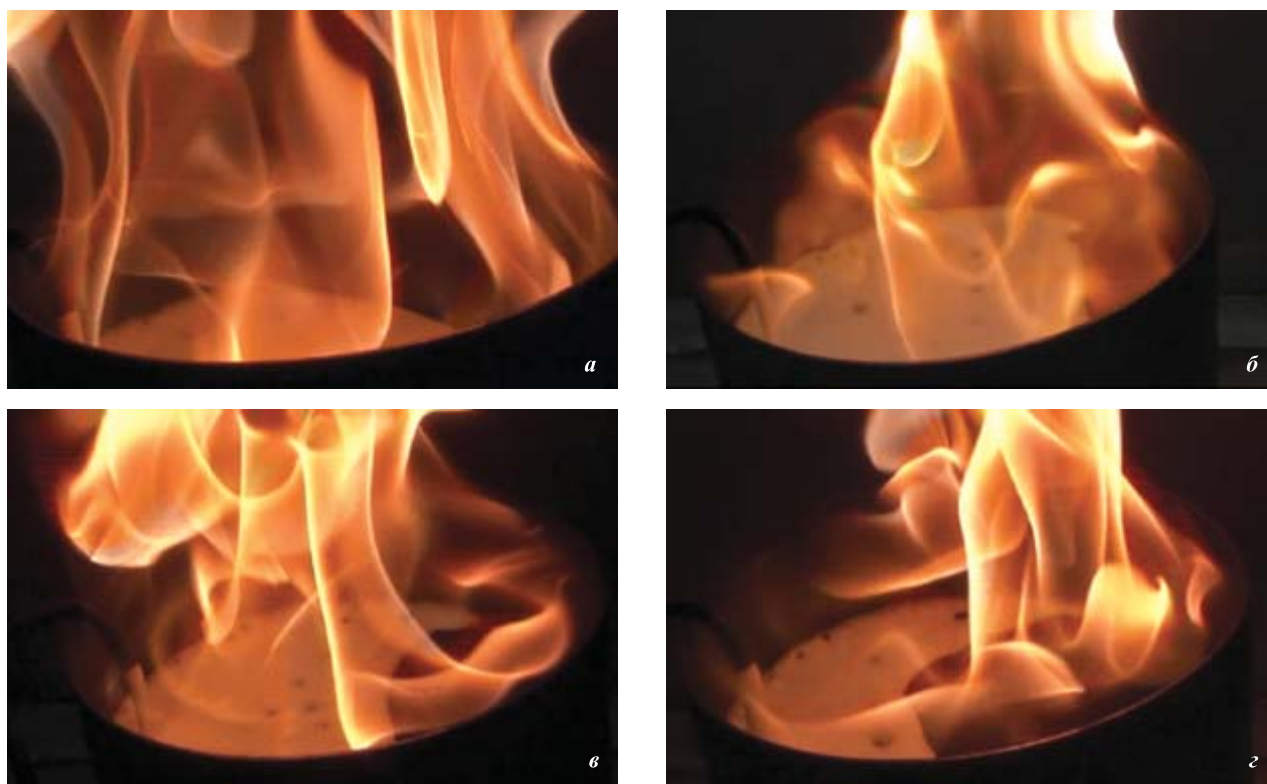


Рис. 3. Фрагменты процесса тушения пламени гептана пеной, полученной из водных растворов этилгексилсульфата натрия: *а* — растекание пены по поверхности гептана; *б* — остановка пенного слоя; *в* — движение пены обратно, внутрь слоя; *г* — сокращение площади поверхности гептана, покрытой пеной

яние потока тепла на пену несоизмеримо с контактным разрушением пены, нагретой поверхностью горящего гептана.

Описанная ситуация, которая иллюстрируется фрагментами процесса тушения на рис. 3, показывает, что несмотря на высокую интенсивность подачи пены процесс ее растекания завершается возвратом и полным разрушением пены.

Следующий гомолог — децилсульфат натрия обладает большей поверхностной активностью, а кривые поверхностного натяжения имеют отчетливый перелом в области концентрации, соответствующей критической концентрации мицеллообразования (ККМ) (см. рис. 1, *б*). Этого перелома на кривых поверхностного натяжения не наблюдалось у предыдущего гомолога. Пена, полученная из растворов децилсульфата натрия, обладала большей контактной устойчивостью, но продвижение пенного слоя по горящему гептану также замедлялось из-за возрастающей скорости ее контактного разрушения.

Зависимость площади, покрытой пеной, от времени ее растекания для пен, полученных из растворов ПАВ, начиная с децилсульфата натрия, имела традиционный вид. Процесс продвижения пены завершался полным покрытием горячей поверхности гептана, вплоть до непосредственного контакта с нагретым бортом резервуара. При этом площадь пламенного горения резко сокращалась: горящими

оставались лишь отдельные участки непосредственно около металлических стенок, т. е. имела место локализация горения. Период, за который она достигается, представляет собой время локализации.

Кривые, характеризующие зависимость времени тушения от интенсивности подачи пены, имели области критической и оптимальной интенсивности. Оптимальная интенсивность устанавливалась по положению минимального значения удельного расхода пены. Удельный расход определялся произведением времени тушения пламени на интенсивность подачи пены [4].

Кривые, характеризующие огнетушащую эффективность растворов исследованных ПАВ, постепенно сдвигались в область меньших значений интенсивностей подачи пены, что свидетельствует о повышении огнетушащей эффективности гомологов с большей молекулярной массой. На рис. 4 представлена зависимость времени тушения пламени гептана от интенсивности подачи пены низкой кратности, полученной из 2 %-ных водных растворов различных алкилсульфатов. На рисунке хорошо заметны области критической интенсивности.

Причина термического распада пены, стабилизированной обычными углеводородными ПАВ, заключается в утрате их молекулами поверхностной активности при достижении температуры в пенных пленках раствора 70...95 °С [3]. При этих темпера-

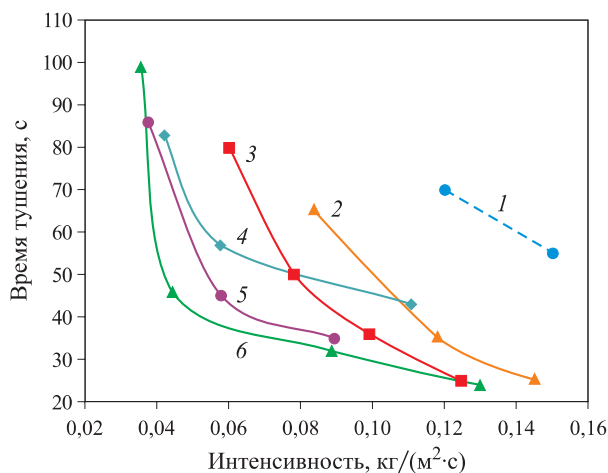


Рис. 4. Зависимость времени тушения пламени гептана от интенсивности подачи пены низкой кратности, полученной из 2 %-ных водных растворов различных алкилсульфатов: 1 — этилгексилсульфат натрия; 2 — смесь алкилсульфатов с числом углеродных атомов 8–10; 3 — децилсульфат натрия; 4 — лаурилсульфат натрия; 5 — смесь алкилсульфатов с числом углеродных атомов 12–14; 6 — то же, с числом углеродных атомов 12–18

турах молекулы ПАВ десорбируются с границы раздела *раствор – воздух*, а пленка пены теряет устойчивость и слой пузырьков разрушается.

Пена из растворов гомологов алкилсульфатов отличается низкой устойчивостью к обезвоживанию, поэтому в процессе продвижения пены по горячей поверхности часть раствора вытекает из пены и кратность пены постепенно возрастает. В отличие от уравнения материального баланса пены, поданной на тушение пламени гептана, приведенного в работе [4], в данном случае, кроме накопления, оба члена уравнения материального баланса учитывают потери раствора как в результате контактного разрушения, так и за счет самопроизвольного истечения раствора. Зависимость кратности пены K от степени заполнения пеной горячей поверхности θ дается полуэмпирической формулой

$$K = K_0 + \alpha S_0 \theta, \quad (3)$$

где K_0, K — исходное и текущее значения кратности пены;

α — удельная толщина пенного слоя, зависящая от средней толщины слоя и концентрации полимера;

$\theta = S_f / S_0$;

S_f — площадь, покрытая пеной;

S_0 — площадь поверхности горящего гептана.

С учетом введенных поправок материальный баланс пены может быть представлен уравнением

$$q d\tau = \theta S_0 U d\tau + \rho_0 h \frac{S_0 d\theta}{K_0 + \alpha S_0 \theta}, \quad (4)$$

где q — секундный расход пены;

τ — время тушения;

U — удельная средняя скорость разрушения пены;

ρ_0 — плотность пенообразующего раствора;

h — средняя толщина пенного слоя.

Разделив переменные, приводим формулу (4) к виду табличного интеграла:

$$d\tau = \frac{\rho_0 h d\theta}{((-U) S_0 \theta + q)(\alpha S_0 \theta + K_0)}. \quad (5)$$

После интегрирования с учетом граничных условий $\tau = 0, \theta = 0$ и $\tau = \tau_T, \theta = 1$ получим выражение

$$\tau_T = \frac{h \rho_0}{q \alpha + U K} \ln \frac{q (S_0 \alpha + K)}{K (q - U S_0)}. \quad (6)$$

Перейдя от секундного расхода q к интенсивности J , получим:

$$\tau_T = \frac{h \rho_0}{\alpha S_0 J + U K} \ln \frac{J (S_0 \alpha + K)}{K (J - U)}. \quad (7)$$

В соответствии с работой [4] толщина пенного слоя зависит от интенсивности подачи пены. Чем выше интенсивность подачи и предельное напряжение сдвига пены, тем больше разница в толщинах пенного слоя в месте подачи и по периметру растекания. Используя аналогичный прием, введем в формулу (5) зависимость средней толщины пенного слоя от интенсивности подачи. В результате получим формулу для оценки времени тушения пламени углеводородов пеной:

$$\tau_T = \frac{\rho_0 (h_0 + \beta J)}{\alpha S_0 J + U K} \ln \frac{J (S_0 \alpha + K)}{K (J - U)}, \quad (8)$$

где h_0 — минимальная толщина пенного слоя;

β — параметр, который зависит от природы полимера, фторсодержащих компонентов, молекулярной массы спирта и его доли в смеси топлива.

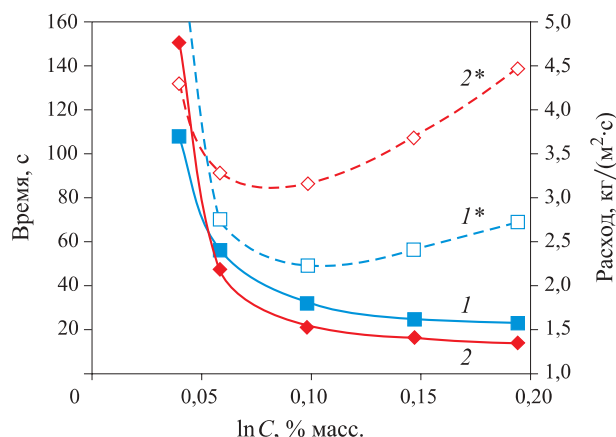


Рис. 5. Сопоставление данных по времени тушения (1, 2) и расходу пены (1*, 2*), полученных расчетом по формуле (8) (1, 1*) и в эксперименте (2, 2*) с использованием пены на основе алкилсульфатов натрия с длиной углеродной цепи $C_{12}-C_{14}$

Критическая ситуация в процессе тушения возникает при $J = U$, т. е. при нулевом значении подкоренного выражения в знаменателе дроби, стоящей под знаком \ln , когда $J \rightarrow U$ и $\tau \rightarrow \infty$.

Выражение для критической интенсивности подачи пены получим в том случае, если интенсивность подачи пены равна критической интенсивности и удельной скорости разрушения пены: $J = U = J_{кр}$.

Сопоставление результатов, полученных расчетом по формуле (8) и в эксперименте, показано на рис. 5.

Результаты экспериментов, полученных для пен из растворов алкилсульфатов, начиная с децилсульфата натрия, удовлетворительно описываются формулой (8), но для гомологов с меньшей молекулярной массой наблюдаются большие различия, особенно в области интенсивностей, близких к критическим.

Эта формула выведена из предположения, что разрушение пены происходит с постоянной удельной скоростью в течение всего процесса ее растекания по горячей поверхности углеводорода. По-видимому, природа контактного разрушения пены для децилсульфата и этилгексилсульфата натрия определяется иной закономерностью, которая должна учитывать возрастание удельной скорости контактного разрушения во времени.

Исследования показали, что огнетушащая эффективность гомологов в ряду алкилсульфатов натрия коррелирует с поверхностной активностью растворов этих ПАВ на границе с гептаном и воздухом. Чем выше коэффициент растекания раствора по гептану, тем меньше удельный расход пены, необходимый для тушения пламени гептана.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р 53280.2–2010. Установки пожаротушения автоматические. Огнетушащие вещества. Часть 2. Пенообразователи для подслоного тушения пожаров нефти и нефтепродуктов в резервуарах. Общие технические требования и методы испытаний. — Введ. 01.07.2010 г. — М.: Стандартинформ, 2010.
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., Шароварников С. А. Пенообразователи и пены для тушения пожара. — М.: Пожнаука, 2005. — С. 152.
4. Корольченко Д. А., Шароварников А. Ф. Основные параметры процесса тушения пламени нефтепродуктов пеной низкой кратности // Пожаровзрывобезопасность. — 2014. — Т. 23, № 7. — С. 65–73.

Материал поступил в редакцию 6 ноября 2014 г.

English

FIRE EXTINGUISHING EFFICIENCY OF FOAMS BASED ON AQUEOUS SOLUTION OF SODIUM ALKYL SULFATES

KOROL'CHENKO 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)

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)

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)

ABSTRACT

Fire extinguishing efficiency of low expansion foam based on aqueous solutions of sodium alkyl sulfates is investigated. Superficial activity of aqueous solutions of foaming agents on the border with heptane are researched and on the basis of these measurements it were calculated spreading coefficients of water solution on a heptane and a heptane on the solution. It is shown that the behavior of

the foam received from solutions of alkyl sulfates in contact with burning heptane is considerably differs. It is established that fire extinguishing efficiency of homologs among sodium alkyl sulfates correlates with superficial activity of solutions of these SAS (surface-active substances) on a border with heptane and air.

Keywords: fire extinguishing efficiency; aqueous solutions of sodium alkyl sulfates; coefficient of spreading of water solution on a heptane; superficial activity of SAS solutions.

REFERENCES

1. *National Standard of Russian Federation 53280.2–2010. Automatic fire extinguishing systems. Fire extinguishing media. Part 2. Foam concentrates for subsurface extinguishing of fires of oil and petroleum products in tanks. General technical requirements and test methods.* Moscow, Standartinform Publ., 2010 (in Russian).
2. Korol'chenko D. A., Sharovarnikov A. F., Degaev E. N. Laboratornaya metodika opredeleniya izoliruyushchikh svoystv peny na poverkhnosti geptana [Laboratory standard technique for insulating properties of foam on heptane surface]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2014, vol. 23, no. 4, pp. 72–76.
3. Sharovarnikov A. F., Sharovarnikov S. A. *Penoobrazovateli i peny dlya tusheniya pozharov* [Foam concentrates and fire extinguishing foams]. Moscow, Pozhnauka Publ., 2005, p. 152.
4. Korol'chenko D. A., Sharovarnikov A. F. Osnovnyye parametry protsessa tusheniya plameni nefteproduktov penyoy nizkoy kratnosti [Main parameters of extinguishing of the oil flame by low expansion foam]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2014, vol. 23, no. 7, pp. 65–73.



Издательство «ПОЖНАУКА»

Представляет книгу

А. Я. Корольченко, Д. О. Загорский КАТЕГОРИРОВАНИЕ ПОМЕЩЕНИЙ И ЗДАНИЙ ПО ВЗРЫВОПОЖАРНОЙ И ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ. — М. : Пожнаука, 2010. — 118 с.



В учебном пособии изложены принципы категорирования помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности, содержащиеся в современных нормативных документах. На примерах конкретных помещений рассмотрено использование требований нормативных документов к установлению категорий. Показана возможность изменения категорий помещений путем изменения технологии или внедрения инженерных мероприятий по снижению уровня взрывопожароопасности и повышению надежности технологического оборудования и процессов.

Пособие рассчитано на студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальностям «Пожарная безопасность», «Безопасность технологических процессов и производств», «Безопасность жизнедеятельности в техносфере», студентов строительных вузов и факультетов, обучающихся по специальности «Промышленное и гражданское строительство», сотрудников научно-исследовательских, проектных организаций и нормативно-технических служб, ответственных за обеспечение пожарной безопасности.

121352, г. Москва, а/я 43; тел./факс: (495) 228-09-03; e-mail: mail@firepress.ru