

Е.И. Хиль, А.Ф. Шароварников

ТУШЕНИЕ ПЛАМЕНИ НЕФТЕПРОДУКТОВ ПЕНОЙ ПЕНООБРАЗОВАТЕЛЕЙ РАЗЛИЧНОЙ ПРИРОДЫ

Анализируется проблема тушения пожаров нефти и нефтепродуктов пеной, полученной из пенообразователей различной природы.

Ключевые слова: пенообразователь, тушение нефти и нефтепродуктов.

E.I. Khil, A.F. Sharovarnikov

EXTINGUISHING THE FLAME OF OIL PRODUCTS BY FOAM OF FOAMING AGENTS OF VARIOUS NATURE

Analysis of problem extinguishing fires of oil and oil products by foam, produced from foam forming agents of various nature was carried out.

Key words: foam forming agent; fire extinguishing of oil and oil products.

Статья поступила в редакцию Интернет-журнала 29 ноября 2015 г.

Тушение пожаров нефтепродуктов в резервуарах осуществляется пеной различной кратности. Кратность пены – это отношение объёма полученной пены к объёму раствора пенообразователя, пошедшего на образование пены. Тушение пожаров нефтепродуктов в резервуарах с плавающей крышей объёмом более 20 тыс. м³ осуществляется комбинированным способом: пену подают на поверхность плавающей крыши и в основание резервуара. Для получения огнетушащей пены используются пенообразователи различной природы. При тушении пожаров нефтепродуктов, особенно тех, что имеют температуру вспышки ниже 28 °С, рекомендуется использовать фторсодержащие пенообразователи.

Этот выбор обусловлен тем, что водные растворы фторированных пенообразователей имеют очень низкое поверхностное натяжение, поэтому они не смешиваются с углеводородами при прохождении через слой горючего и не загрязняются при попадании на нефтепродукт с большого расстояния. Природа фторированных пенообразователей может отличаться как по составу углеводородных компонентов, так и по химической природе **фторированного поверхностно-активного вещества (ФПАВ)**. Как правило, состав и химическая формула ФПАВ и взаимное соотношение компонентов в концентрированном пенообразователе являются секретами производителя.

Для расширения диапазона применения пенообразователей в их состав дополнительно добавляют высокомолекулярные соединения, которые обеспечивают устойчивость пены к смешевым топливам, которые наряду с углеводородами содержат добавки низкомолекулярных спиртов и эфиров. В связи с неопределенностью состава нефтепродуктов необходимо исследовать огнетушащую эффективность различных видов фторированных пенообразователей.

Наиболее надёжной характеристикой природы фторсодержащих пенообразователей являются значения поверхностного и межфазного натяжения водного раствора пенообразователя на границе с углеводородом. Обычно, в качестве эталонного нефтепродукта используют гептан нормального строения. Поэтому, прежде чем приступить к экспериментальным исследованиям огнетушащей эффективности, проверяли поверхностную активность рабочих водных растворов на границе с гептаном.

Цель поведённой авторами работы – проанализировать результаты сравнительных испытаний огнетушащей эффективности пены, полученной из различных фторсодержащих пенообразователей.

Экспериментальные измерения огнетушащей эффективности пены при подаче в слой углеводорода и методика измерения поверхностного и межфазного натяжения приведены в ГОСТ Р 53280.2-2010 [1, 2].

Отличительной особенностью использованной методики являлось исследование процесса тушения пламени гептана в широком диапазоне интенсивности подачи пены, а при измерении поверхностного и межфазного натяжений – в широком диапазоне концентрации пенообразователей. Эти дополнения позволили выявить область концентраций, в которой водные растворы способны самопроизвольно растекаться по поверхности углеводорода, и определить оптимальную интенсивность подачи пены при тушении пламени горючей жидкости. В качестве горючей жидкости использовали индивидуальный предельный углеводород – *n*-гептан.

Экспериментальные исследования начинали с измерений поверхностного и межфазного натяжений и расчёта на их основе коэффициента растекания водного раствора по гептану. Для расчёта использовали известное соотношение [3]:

$$f_{10} = \sigma_0 - (\sigma_1 + \sigma_{10}), \quad (1)$$

где f_{10} – коэффициент растекания раствора по углеводороду;

σ_0 – поверхностное натяжение горючей жидкости;

σ_1 – поверхностное натяжение водного раствора пенообразователя;

σ_{10} – межфазное натяжение на границе раствор пенообразователя – углеводород.

Для приготовления водных растворов использовали пенообразователи: "Light Water FC-201", "Shtamex AFFF", "Chemgard AFFF C-133", "Ultraguard AR-AFFF", "Шторм Ф" и "Подслойный".

Результаты экспериментальных измерений, полученных при использовании различных пенообразователей, чередовались: вначале результаты поверхностного и межфазного натяжений, а затем результаты тушения пламени подачи пены с различной интенсивностью.

В качестве примера на рис. 1 представлены кривые, характеризующие зависимость поверхностного и межфазного натяжений от концентрации рабочего раствора на основе пенообразователя "Light Water FC-201".

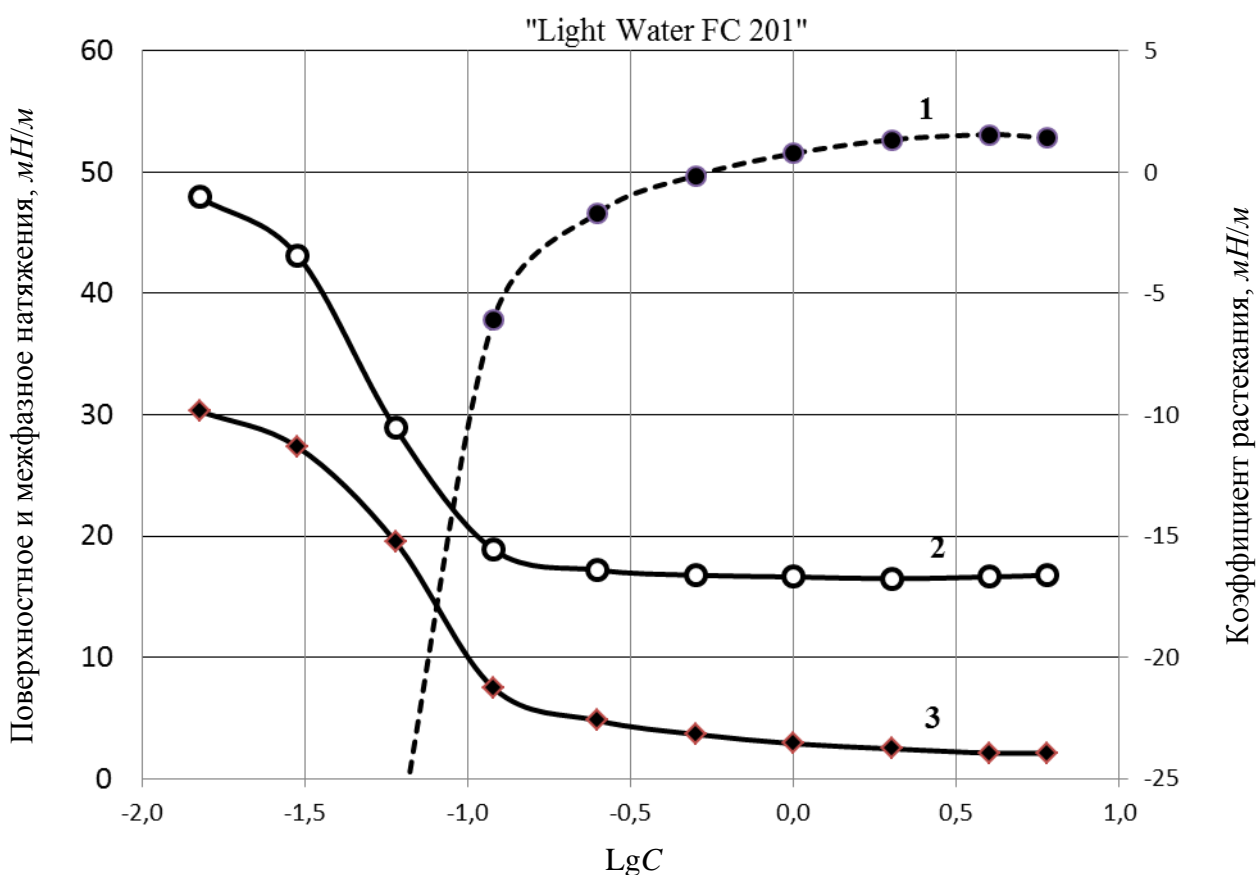


Рис. 1. Коэффициент растекания (1), кривые поверхностного натяжения (2) и межфазного натяжения на границе с гептаном (3)

На рис. 1 также представлена кривая коэффициента растекания раствора пенообразователя по горючей жидкости, в нашем случае – по гептану. Этот пенообразователь является образцом среди фторсодержащих составов. Судя по результатам измерений, растворы пенообразователя, начиная с концентрации 1,0 %, приобретают положительный коэффициент растекания и в результате этого способны к самопроизвольному растеканию водного раствора по поверхности гептана.

На рис. 2 представлены результаты процесса тушения пламени гептана пеной, полученной из растворов пенообразователя "Light Water FC-201". На этом же графике, стрелками, указаны положения критической ($J_{кр}$), оптимальной интенсивности ($J_{опт}$) и минимального удельного расхода пенообразователя, использованного для тушения пламени.

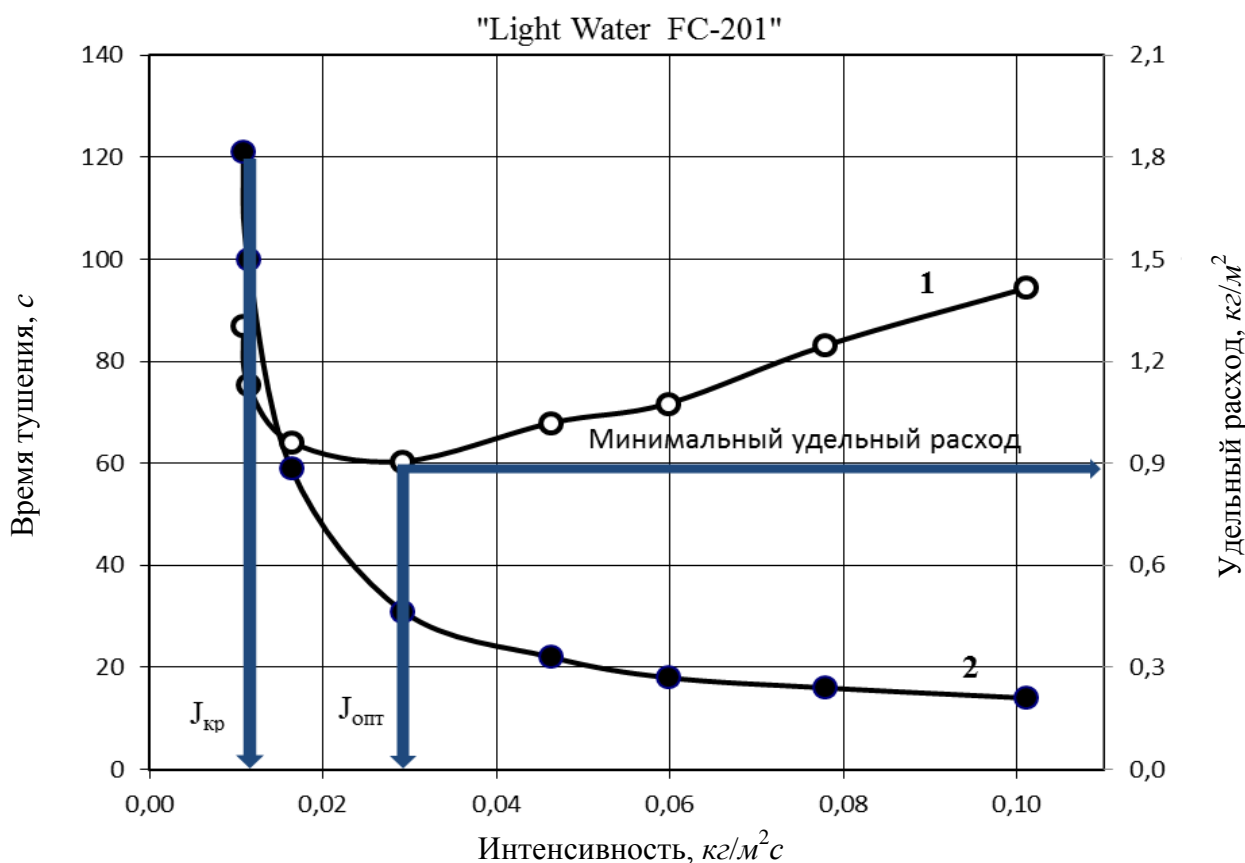


Рис. 2. Зависимость времени тушения пламени гептана (2) и зависимости удельного расхода от интенсивности подачи пены (1)

Аналогичные испытания проведены с использованием пенообразователей: "Shtamex AFFF", "Chemgard AFFF C-133", "Ultraguard AR-AFFF", "Шторм Ф" и "Подслойный".

На основе анализа результатов экспериментальных исследований процесса тушения пламени гептана при подаче пены низкой кратности в слой горючего, получены сравнительные данные по критической и оптимальной интенсивностям подачи пены, для всех исследованных пенообразователей.

Таблица 1

Итоговые результаты испытаний огнетушащей эффективности пенообразователей при подаче пены в слой гептана

Название пенообразователей	Интенсивность, $кг/м^2 \cdot с$		Минимальный удельный расход, $кг/м^2$	Соотношение $J_{опт}/J_{кр}$
	Критическая	Оптимальная		
Light Water FC-201	0,015	0,035	0,9	2,3
Shtamex AFFF	0,02	0,045	1	2,3
Chemgard AFFF C-133	0,02	0,045	1,1	2,3
Ultraguard AR-AFFF	0,02	0,045	1,2	2,3
Шторм Ф	0,015	0,045	1,2	3,0
Подслойный	0,015	0,045	1,7	3,0
Мультипена	0,015	0,04	1,4	2,7
Экопена AFFF	0,025	0,055	1,1	2,2

Попытка сопоставить результаты исследований с существующей теорией, описывающей процесс тушения пеной, показали удовлетворительное совпадение с выводами работ [4-6], в которых показано, что соотношение между оптимальной и критической интенсивностями описывается формулой:

$$J_{\text{опт}} = 2,5 J_{\text{кр}}, \quad (2)$$

где $J_{\text{кр}}$ – критическая,

$J_{\text{опт}}$ – оптимальная интенсивности, $\text{кДж}/\text{м}^2 \cdot \text{с}$.

Выражение для расчёта критической интенсивности:

$$J_{\text{кр}} = \frac{U_o}{4} = \frac{U_{\Gamma} Q_{\Gamma}}{4zQ_{\text{в}}}, \quad (3)$$

где Q_{Γ} – удельная теплота испарения углеводорода, $\text{кДж}/\text{кг}$;

U_{Γ} – удельная скорость испарения углеводорода, $\text{кг}/\text{м}^2 \cdot \text{с}$;

U_o – удельная скорость термического разрушения пены, $\text{кг}/\text{м}^2 \cdot \text{с}$;

z – коэффициент формы пузырьков пены;

$Q_{\text{в}}$ – удельная теплота испарения воды, $\text{кДж}/\text{кг}$.

Для расчётов времени тушения предложена система формул:

$$\tau_{\Gamma} = \frac{h \cdot \rho_f}{\sqrt{(J - J_{\text{кр}}) J_{\text{кр}}}} \cdot \arctg \sqrt{\frac{J_{\text{кр}}}{J - J_{\text{кр}}}}; \quad (4)$$

$$h = h_o(1 + J/J_{\text{кр}})/2, \quad (5)$$

где ρ_f – плотность пены, $\text{кг}/\text{м}^3$;

h и h_o – средняя и минимальная толщина пенного слоя, м .

Удельный расход пены на тушение пламени определяли по соотношению:

$$Q_{\text{уд}} = J \cdot \tau_{\Gamma}, \quad (6)$$

где τ_{Γ} – время тушения, с .

Сопоставление результатов эксперимента и расчётов показано на рис. 3.

Сопоставление результатов экспериментов с теорией, позволяющее выявить соотношение между оптимальной и критической интенсивностями, показывает удовлетворительное совпадение с формулой (2). Величина коэффициента пропорциональности, представленного в табл. 1, изменяется в пределах от 2,2 до 3,0, что близко к теоретическому значению 2,5.

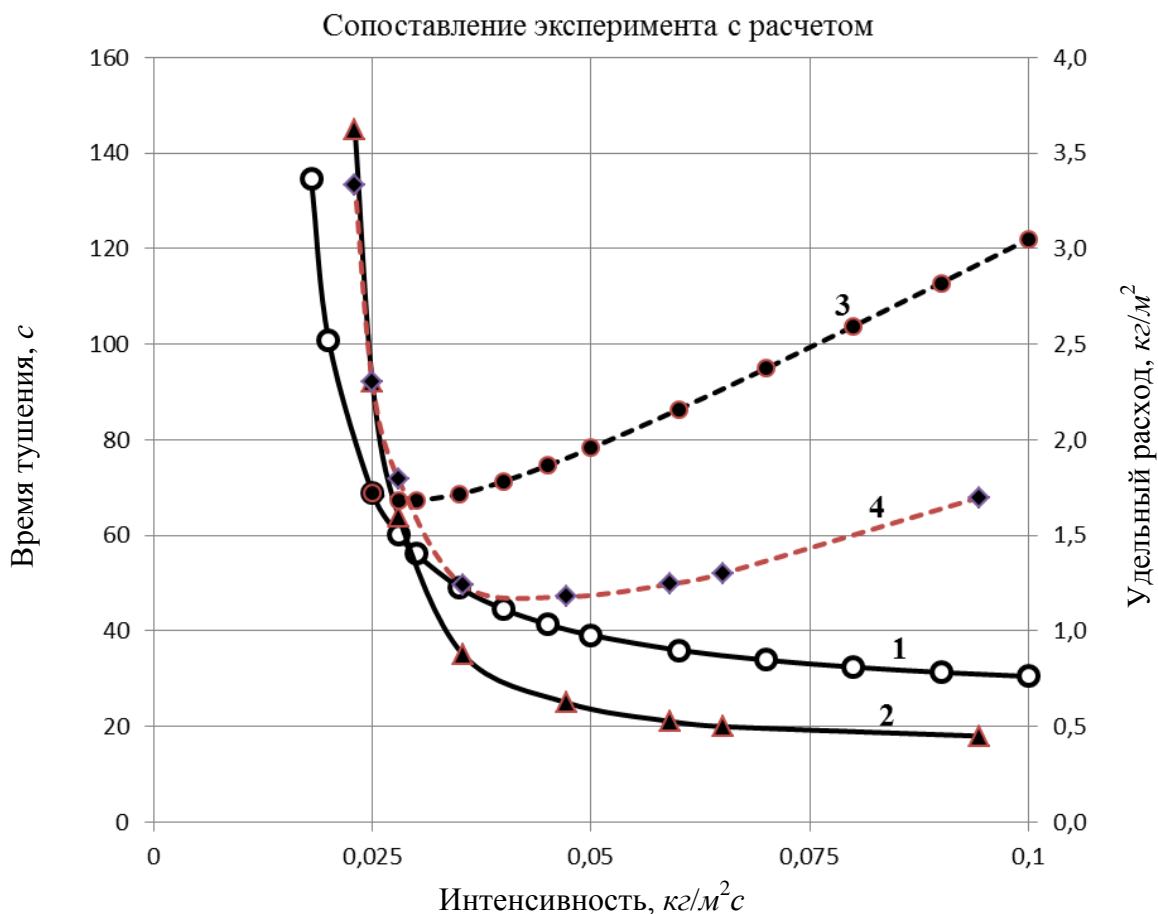


Рис. 3. Зависимость времени тушения (1, 2) и удельного расхода пены низкой кратности (3, 4) при тушении пламени гептана пенообразователем "Подслойный":
1, 3 – расчёт по формулам (5, 6); 2, 4 — эксперимент

Основной вывод из проведённых экспериментов – это наличие минимума на кривых зависимости удельного расхода водного раствора пенообразователя от интенсивности подачи пены, для всех исследованных пенообразователей. Это позволяет определять оптимальную интенсивность подачи пены. Результаты исследований подтверждают предложенный ранее [4, 5] механизм процесса тушения подслойным способом. Удовлетворительное совпадение модельных представлений о процессе тушения пеной и экспериментальных испытаний подтверждает возможность расчётов основных параметров процесса тушения при подслойной подаче пены.

Литература

1. *ГОСТ Р 53280.2-2010*. Установки пожаротушения автоматические. Огнетушащие вещества. Часть 2. Пенообразователи для подслойного тушения пожаров нефти и нефтепродуктов в резервуарах. Общие технические требования и методы испытаний.
2. *ГОСТ Р 50588-2012*. Пенообразователи для тушения пожаров. Общие технические требования и методы испытаний.
3. Шароварников А.Ф., Шароварников С.А. Пенообразователи и пены для тушения пожаров. Состав, свойства, применение. М.: Пожнаука, 2005. 335 с.
4. Шароварников А.Ф., Молчанов В.П., Воевода С.С., Шароварников С.А. Тушение пожаров нефти и нефтепродуктов. М.: изд. дом "Калан", 2002. 448 с.
5. Корольченко Д.А., Шароварников А.Ф. Основные параметры процесса тушения пламени нефтепродуктов пеной низкой кратности // *Пожаровзрывобезопасность*. 2014. № 7. С. 67-73.
6. Шароварников А.Ф., Корольченко Д.А. Тушение горючих жидкостей распылённой водой // *Пожаровзрывобезопасность*. 2013. № 11. С. 70-74.