

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)

А. И. МЕЛЬНИКОВ, аспирант 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

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОГNETУШАЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ВОДНЫХ ПЛЕНКО- ОБРАЗУЮЩИХ РАСТВОРОВ ФТОРИРОВАННЫХ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ

На основе экспериментальных исследований тушения пламени легковоспламеняющихся (ЛВЖ) и горючих (ГЖ) жидкостей водными пленкообразующими растворами выявлен механизм тушения пламени, который проходит через стадию формирования "обратной" эмульсии при контакте капель раствора с горящей поверхностью. Получена зависимость удельного расхода и времени тушения пламени ГЖ и ЛВЖ от интенсивности подачи дисперсных струй водных растворов, а также выявлена возможность тушения ГЖ и ЛВЖ распыленными струями пленкообразующих водных растворов, содержащих фторированные ПАВ. Экспериментально установлено, что зависимость удельного расхода раствора от интенсивности подачи проходит через минимум, природа которого связана с наличием сопутствующего фактора — увеличения толщины слоя пены сверх необходимой толщины слоя, обладающего изолирующими свойствами.

Ключевые слова: тушение легковоспламеняющихся и горючих жидкостей; водный пленкообразующий раствор; фторированные ПАВ; огнетушащая способность; удельный расход; время тушения.

DOI: 10.18322/PVB.2015.24.09.74-81

Тушение распыленной водой легковоспламеняющихся жидкостей (ЛВЖ) с температурой вспышки ниже 0 °С практически невозможно. В работах [1–7] было найдено, что эффект тушения может быть достигнут только при использовании распыленной струи со средним размером капель не более 60 мкм и только в узком диапазоне значений давления воды. Возможность тушения пламени горючих жидкостей (ГЖ) с высокой температурой вспышки, таких, например, как трансформаторное масло, была показана в работе Горшкова [8].

Экспериментальные исследования процесса тушения пламени горючих жидкостей выявили качественно особую зависимость между удельным расходом и интенсивностью подачи распыленной воды, что выражалось в наличии минимума на кривой удельного расхода [9, 10]. Поскольку тушение пламени ЛВЖ чистой водой практически невозможно, то и количественных результатов, иллюстрирующих зависимость времени тушения от интенсивности ее подачи, обнаружить в литературе не удалось. Тем не менее существует качественная иллюстрация экстремальной зависимости удельного расхода от интенсивности подачи распыленной воды [9, 10].

В работах [11–13] была предложена теория, объясняющая существование экстремальной зависимости, которая базируется на принципе возникновения сопутствующего эффекта в процессе тушения пламени горючих жидкостей дисперсными огнетушащими веществами (ОТВ). Основным сопутствующим фактором при тушении пламени распыленной водой и порошком является поток кислорода воздуха, увлекаемого струей дисперсного вещества. Эффект его вовлечения является следствием эжекции струи и нагнетания воздуха дисперсными частицами воды или порошка в очаг горения.

Для демонстрации роли сопутствующего фактора в тушении пламени ГЖ и ЛВЖ дисперсными системами, в частности распыленной водой, а также для установления экстремальной зависимости между удельным расходом и интенсивностью подачи ОТВ были разработаны оригинальные методы исследования огнетушащей способности воды.

Цель экспериментальных исследований — получить зависимость удельного расхода и времени тушения пламени ГЖ и ЛВЖ от интенсивности подачи дисперсных струй водных растворов, а также

выявить возможность тушения ГЖ и ЛВЖ распыленными струями пленкообразующих водных растворов, содержащих фторированные поверхностно-активные вещества (ФПАВ).

Предполагалось, что тушение пламени может быть достигнуто за счет постепенного накопления пленкообразующего раствора на горячей поверхности углеводорода и формирования пленки водного раствора или тонкого слоя пены.

Огнетушащее действие распыленной воды определяется ее дисперсностью, составом водного раствора и типом огнетушителя.

Оценка сравнительной эффективности применения распыленной воды не может быть проведена с использованием готовых огнетушителей различных марок, которые различаются по способу подготовки распыленной воды, режиму подачи и способу распыления.

Для сравнительной оценки огнетушащей способности распыленной воды была создана стендовая установка, в которой подготовка распыленной воды и режим подачи и распыления были одинаковыми. Схема экспериментальной установки представлена на рис. 1.

Важнейшим элементом установки является центробежный распылитель, который должен обеспечивать равномерное орошение и минимальную дисперсность распыленной струи. Как правило, обычные распылители создают струю в виде зонтика, “пустую” внутри, что не позволяет воздействовать на весь факел пламени и горящую поверхность, поэтому в опытах был применен центробежный распылитель (рис. 2).

Исследуемый водный раствор заливали в герметичную емкость, взвешивали и плотно закрывали крышкой. В холостом эксперименте определяли расход водного раствора в секунду при давлении воздуха $(2,0 \pm 0,2)$ атм. Горючую жидкость заливали в металлическую горелку с высотой свободного борта $(1,5 \pm 0,5)$ см. Время свободного горения составляло 60 с. Определяли время, в течение которого достигалось полное тушение горячей жидкости. Затем прекращали подачу воздуха и открывали крышку герметичной емкости с оставшимся водным раствором, после чего взвешивали и определяли массу водного раствора, израсходованного на тушение пламени.

Эксперименты проводили трижды на одной горелке, начиная с минимального диаметра и постепенно переходя к большему. На основе экспериментальных исследований определяли интенсивность подачи раствора и соответствующий удельный расход воды. Для анализа процесса тушения строили график зависимости удельного расхода и времени

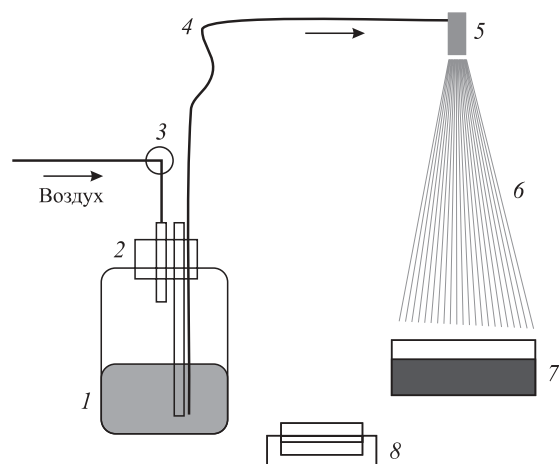


Рис. 1. Стендовая установка для определения сравнительной огнетушащей способности распыленной воды: 1 — водный раствор ПАВ; 2 — герметичная емкость со съемной крышкой; 3 — манометр; 4 — эластичная трубка; 5 — распылитель; 6 — струя распыленной воды; 7 — горелка с горючей жидкостью; 8 — весы

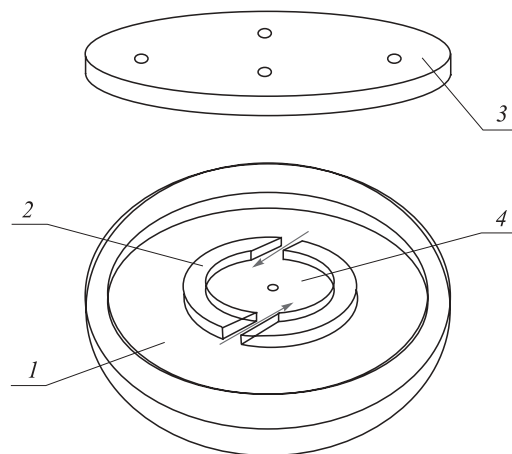


Рис. 2. Схема центробежного распылителя: 1 — кольцевое углубление; 2 — кольцо с косым срезом; 3 — крышка с отверстиями; 4 — центральное отверстие

тушения от интенсивности подачи распыленного раствора.

Экспериментальное исследование процесса тушения проводили путем использования модельных горелок различных диаметров с целью получить зависимость времени тушения и удельного расхода водного раствора от интенсивности подачи распыленной струи. Поскольку тушение ГЖ в лабораторных условиях осуществляли пневматическим распылителем с низким расходом раствора — 1,2 г/с, использовали горелки диаметром от 5 до 20 см.

Поверхностное и межфазное натяжение пленкообразующих водных растворов определяли по методу отрыва кольца по ГОСТ Р 50588–2012 “Пенообразователи для тушения пожаров. Общие технические требования и методы испытаний”. В качестве пленкообразующих растворов использовали

пенообразователи “Shtamex AFFF”, “Шторм Ф” и смеси ПАВ — углеводородных (первичных алкилсульфатов натрия $C_nH_{2n+1}OSO_3Na$ (где $n = 8...10$) — от 0,8 до 3,0 % масс.) и фторированных ($C_6F_{13}CH_2CH_2SO_2NHCH_2CH_2CH_2N(CH_3)_2CH_2CH_2COO$ — от 0,08 до 0,40 % масс.).

Растекание капли воды по поверхности жидкости определяется величиной и знаком поверхностного давления, которое действует по периметру смачивания жидкости и раствора. Движущую силу растекания определяли величиной коэффициента растекания f_σ :

$$f_\sigma = \sigma_r - (\sigma_p + \sigma_{mf}), \quad (1)$$

где σ_r — поверхностное натяжение ГЖ, мН/м;

σ_p — поверхностное натяжение раствора на границе с воздухом, мН/м;

σ_{mf} — межфазное поверхностное натяжение, мН/м.

Величина σ_p составляла 16–19 мН/м, σ_{mf} — 1,0–6,0 мН/м. Для обеспечения растекания капли по углеводородам с $\sigma_r \cong 22$ мН/м водный раствор должен иметь $\sigma_p \cong 16$ мН/м и $\sigma_{mf} = 2,5$ мН/м, тогда $f_\sigma \cong 2,0...3,0$ мН/м.

Изменение соотношения компонентов в смеси позволило направленно регулировать величину коэффициента растекания водного раствора по углеводороду.

На рис. 3 и 4 показаны зависимости коэффициента растекания водного раствора по поверхности дизельного топлива от состава смеси ФПАВ — УПАВ и от концентрации пенообразователя “Шторм Ф”. Коэффициент растекания растворов УПАВ всегда отрицательный, поэтому они не могут использоваться для тушения пламени углеводородов. При оптимальном соотношении компонентов коэффициент растекания изменяется от 7,1 до 8,5 мН/м. Изменение коэффициента растекания водного раствора в широком диапазоне позволило экспериментально проверить огнетушащую способность пленкообразующих растворов.

Для исследований использовали растворы с различным коэффициентом растекания. В качестве горючей жидкости применяли дизельное топливо, гептан и бензин. Выбор дизельного топлива объясняется его высокой температурой вспышки — более 150 °С (ГЖ), тогда как бензин и гептан имеют температуру вспышки ниже 28 °С (ЛВЖ).

На рис. 5 представлены фрагменты свободного горения и процесса тушения дизельного топлива пленкообразующими водными растворами. В отличие от горящего гептана, для которого характерно полупрозрачное пламя желтого цвета, горение дизельного топлива сопровождается выделением черного дыма, а пламя имеет интенсивную оранжевую окраску.

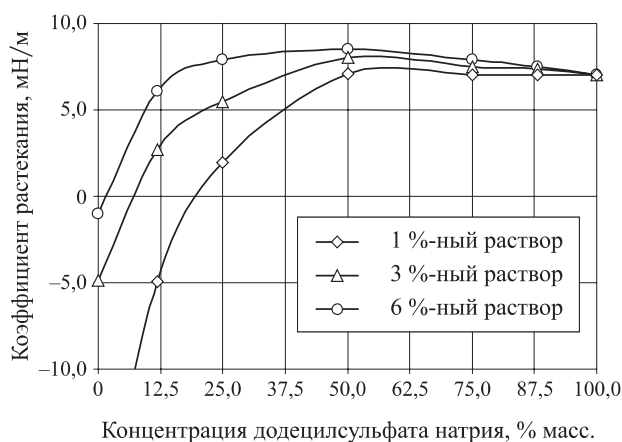


Рис. 3. Зависимость коэффициента растекания водного раствора по поверхности дизельного топлива от состава смеси ФПАВ — УПАВ

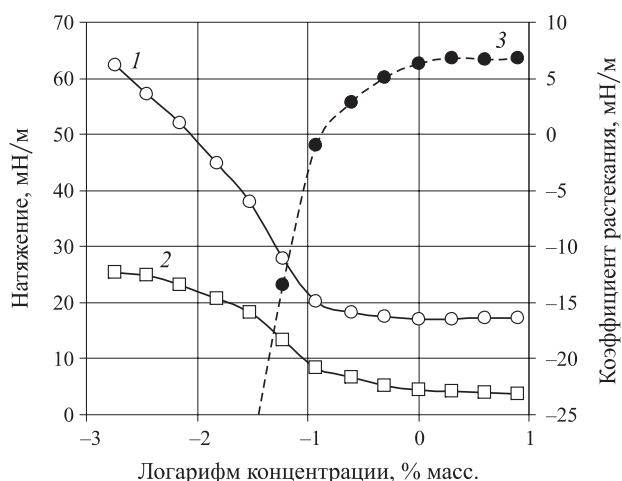


Рис. 4. Зависимость поверхностного (1) и межфазного (2) натяжения и коэффициента растекания (3) водного раствора по поверхности дизельного топлива от концентрации пенообразователя “Шторм Ф”



Рис. 5. Фрагменты процесса тушения дизельного топлива пленкообразующими водными растворами

Процесс тушения дизельного топлива сопровождался охлаждением поверхностного слоя углеводорода и формированием в приповерхностном слое “обратной” эмульсии, которая периодически поднималась на поверхность. При этом поверхность, покрытая эмульсией, не участвовала в испарении, поэтому над ее поверхностью пламени не было.

Механизм формирования “обратной” эмульсии “раствор в масле” происходил за счет взаимодействия капель водного пленкообразующего раствора с

нагретым поверхностным слоем горящего дизельного топлива. При этом небольшая часть малых капель успевала испариться, поэтому эмульсия имела белые прожилки пены. После тушения определяли температуру поверхностного слоя дизтоплива с помощью инфракрасного пирометра. Она составляла 170–180 °С. При этой температуре формирование изолирующей пленки на поверхности практически невозможно. Чем выше коэффициент растекания пленкообразующего водного раствора, тем быстрее формируется “обратная” эмульсия и тем эффективнее протекает процесс тушения пламени.

Результаты тушения дизтоплива с температурой вспышки 170–175 °С водными распыленными растворами смесового состава с размером капель более 100 мкм представлены на рис. 6 и 7. Как видно из рис. 6, график зависимости времени тушения от интенсивности подачи распыленного раствора имеет характерный вид: на нем прослеживается максимум критической интенсивности, при котором время тушения резко возрастает, а при дальнейшем ее увеличении начинает стремиться к постоянной величине. Зависимость удельного расхода от интенсивности подачи раствора имеет явно выраженный минимум, который соответствует оптимальной интенсивности подачи распыленного водного раствора.

Из рис. 7 следует, что влияние коэффициента растекания сказывается на времени тушения пламени дизтоплива, но эффект наблюдается явно в области, близкой к критической интенсивности. Необходимо отметить, что критическая интенсивность для всех растворов с положительным коэффициентом растекания оказалась одинаковой — 0,035 кг/(м²·с).

Форма кривых зависимости удельного расхода от интенсивности подачи распыленного раствора (рис. 8) имеет минимум, положение которого соответствует оптимальной интенсивности. Наличие минимума на кривой *расход — интенсивность* связана с нали-

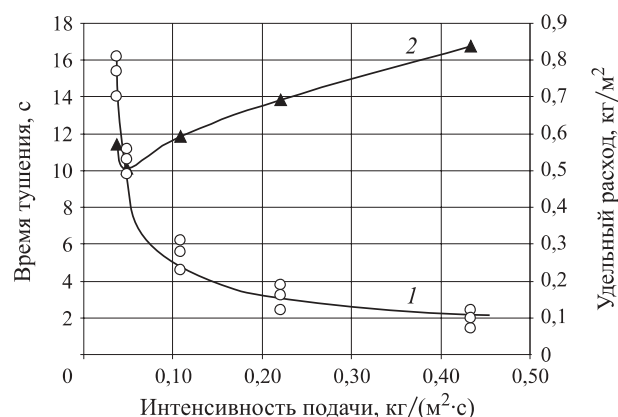


Рис. 6. Зависимость времени тушения пламени дизтоплива (1) и удельного расхода (2) водных пленкообразующих растворов, полученных из пенообразователя “Shtamex AFFF”, от интенсивности их подачи

чием сопутствующего эффекта — увлечения кислорода воздуха распыленной струей водного раствора [11–13].

Тушение пламени бензина проводили также с использованием водных растворов пенообразователей “Шторм Ф”, “Shtamex AFFF” и смеси ФПАВ с УПАВ. В качестве примера представлены изотермы поверхностного и межфазного натяжения на границе с бензином растворов пенообразователя “Шторм Ф” (рис. 9). В соответствии с ними выбирали такую концентрацию пенообразователя для тушения, при которой коэффициент растекания имеет положительное значение.

Процесс тушения пламени бензина распыленным пленкообразующим раствором представлен на рис. 10.

Тушение пламени происходило за счет образования на поверхности углеводорода тонкого слоя

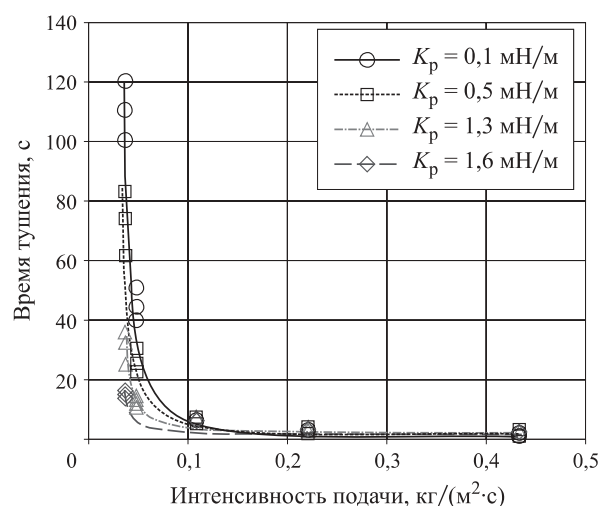


Рис. 7. Зависимость времени тушения пламени дизтоплива водными пленкообразующими растворами, полученными из смесей ФПАВ и УПАВ, с различным коэффициентом растекания K_p

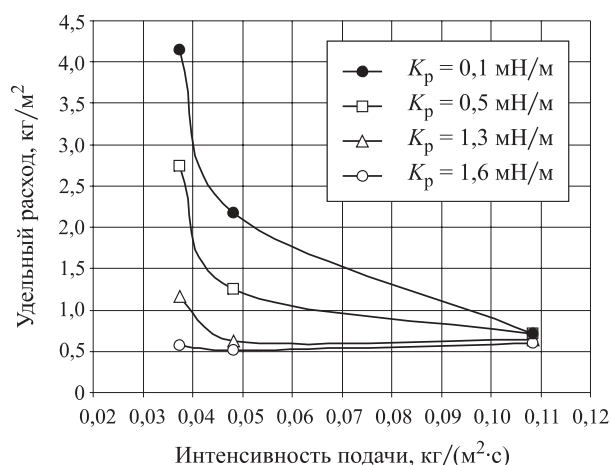


Рис. 8. Зависимость удельного расхода водных пленкообразующих растворов при тушении пламени дизтоплива от интенсивности подачи раствора и коэффициента его растекания

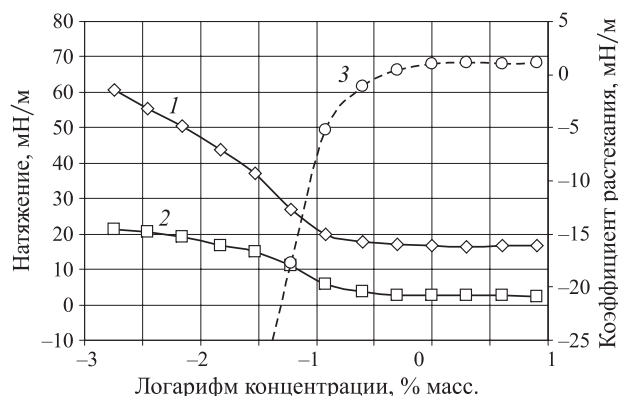


Рис. 9. Изотермы поверхностного (1) и межфазного (2) натяжения и коэффициент растекания (3) водных растворов различной концентрации по бензину пенообразователя “Шторм Ф”

пены. Процесс тушения включал несколько этапов: охлаждение поверхности горящей жидкости, растекание капель раствора на локальных участках и формирование на поверхности тонкого слоя пены. В отличие от способа тушения пеной здесь пена низкой кратности формировалась в процессе взаимодействия капель раствора с водными пленками на поверхности бензина. Механизм процесса образования пены связан с увлечением воздуха каплями, падающими на пленку раствора, которая сформировалась на охлажденных участках горячей поверхности. Тушение пламени достигалось только тогда, когда пена покрывала 80 % поверхности, а оставшуюся ее часть изолировал тонкий слой водного раствора (см. рис. 2). Результаты экспериментальных измерений удельного расхода и времени тушения пламени бензина растворами различных пенообразователей представлены на рис. 11 и 12.

Экспериментальные исследования выявили наличие минимума на кривых зависимости удельного расхода раствора от интенсивности подачи. Это объясняется возникновением сопутствующего эффекта при тушении, который выражается в увеличении толщины тушащего слоя сверх необходимой минимальной толщины слоя, обладающего изолирующими свойствами. Чем выше интенсивность, тем больше потери раствора, которые идут на увеличение толщины пенного слоя.

Количественный анализ процесса тушения бензина пленкообразующими растворами близок к описанию тушения пламени углеводородов пеной низкой кратности, а также огнетушащими порошками, газами и аэрозолями [14–16]. Отличие заключается в механизме формирования пены на поверхности горячей жидкости. При использовании распыленных водных пленкообразующих растворов пена образуется в результате удара капель о поверхность водной пленки. Падающие капли увлекают за собой порции воздуха, которые, углубляясь в водную пленку, формируют пену низкой кратности. Последующие капли раствора орошают слой пены, повышая его изолирующие свойства, что препятствует испарению бензина. По мере образования пенного слоя и его обводнения часть жидкости выделяется из слоя пены в виде тонкого слоя водного раствора. Формирующаяся пленка покрывает поверхность бензина, и горение прекращается, даже если не вся его поверхность оказывается покрытой слоем пены.

Полагая, что поданный в единицу времени τ на тушение пламени раствор частично накапливается на площади поверхности нефтепродукта S_f слоем со средней толщиной h_f , а вторая часть в результате осаждения капель уносится через слой горючей жидкости с усредненной удельной скоростью U_L , получим уравнение

$$q d\tau = \rho_f h_f dS_f + S_f U_L d\tau, \quad (2)$$

где q — секундный расход раствора, кг/с;

ρ_f — плотность пены, кг/м³;

S_f — площадь поверхности водной пленки, подверженной удару капель, м².

Усредненная удельная скорость пропорциональна расходу раствора и среднему размеру капель:

$$U_L = AqD,$$

где A — коэффициент использования раствора при тушении нефтепродукта;

D — средний размер капель, м.

Если $S_f = S_0$, то $\tau = \tau_t$ (где S_0 — площадь горячей жидкости перед тушением, м²; τ_t — время тушения, с). Решив уравнение относительно времени ту-



Рис. 10. Фрагменты процесса тушения бензина пленкообразующими водными растворами

шения пламени, получим простое соотношение для количественной оценки времени тушения и характера зависимости времени тушения от интенсивности подачи пены.

Решение уравнения (2) при начальных условиях $\tau = 0$ и $S_f = 0$ позволяет получить зависимость времени тушения от интенсивности подачи раствора. Интенсивность подачи пленкообразующего раствора J_0 определяется отношением секундного расхода раствора к площади горящей жидкости до начала тушения, т. е. $J_0 = q/S_0$, $J = q/S_f$:

$$\tau_t = -\frac{\rho_f h}{U_L} \ln \left(1 - \frac{J_0}{J} \right), \quad (3)$$

где J — интенсивность подачи пены, $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$.

Полагая, что толщина тушащего слоя зависит от интенсивности подачи раствора, получим:

$$\tau_t = \frac{h_0 \rho_f (3J - 2J_{\text{кр}})}{3U_0 (J - J_{\text{кр}})}, \quad (4)$$

где h_0 — минимальная толщина изолирующего слоя пены, м;

U_0 — усредненная удельная скорость осаждения капель раствора перед тушением, м/с;

$J_{\text{кр}}$ — критическая интенсивность подачи пленкообразующего раствора, $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$.

Удельный расход пены на тушение пламени Q_t ($\text{кг}/\text{м}^2$) может быть рассчитан по формуле

$$Q_t = \frac{h_0 \rho_f J (3J - 2J_{\text{кр}})}{3U_0 (J - J_{\text{кр}})}. \quad (5)$$

Анализ формулы (5) показывает, что зависимость удельного расхода от интенсивности подачи проходит через минимум, положение которого хорошо выражено на рис. 3 и 5. Наличие минимума обусловлено сопутствующим эффектом — увеличением толщины тушащего слоя пены при интенсивности подачи распыленного раствора выше оптимальной.

Таким образом, на основе экспериментальных исследований тушения пламени ЛВЖ и ГЖ водными пленкообразующими растворами выявлен механизм тушения пламени, который проходит через стадию формирования “обратной” эмульсии при контакте капель раствора с горячей поверхностью.

При тушении ЛВЖ процесс тушения проходит через этап образования пены низкой кратности за

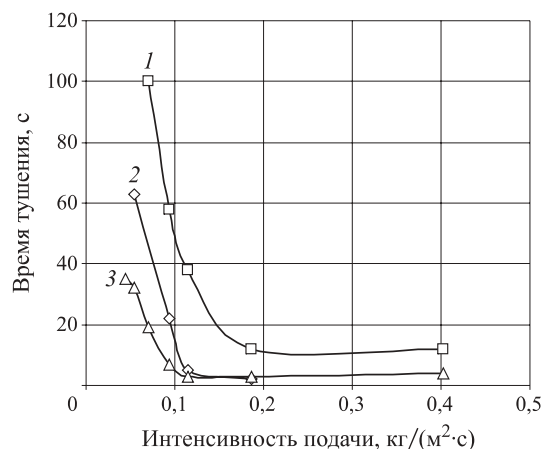


Рис. 11. Зависимость времени тушения пламени бензина от интенсивности подачи распыленной струи на основе пенообразователя “Шторм Ф” с концентрацией: 1 — 0,1 % масс.; 2 — 0,25 % масс.; 3 — 0,5 % масс.

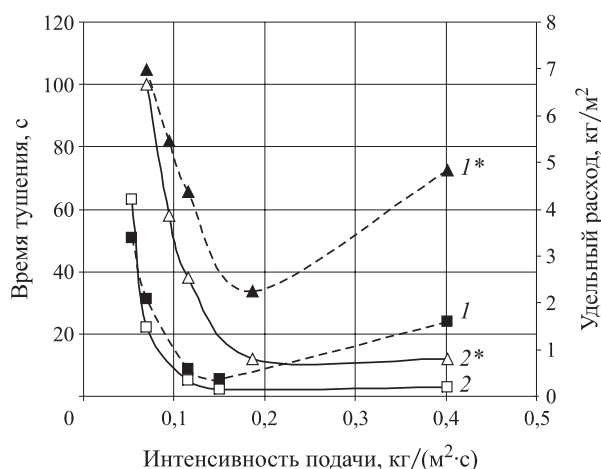


Рис. 12. Зависимость удельного расхода (I , I^*) и времени тушения пламени бензина (2 , 2^*) распыленным раствором смеси ФПАВ и УПАВ (1 , 2) и пенообразователя “Shtamex AFFF” (I^* , 2^*) от интенсивности подачи

счет удара капель раствора о поверхность, которые увлекают за собой порцию воздуха в водную пленку на поверхности углеводорода.

Экспериментально также установлено, что зависимость удельного расхода раствора от интенсивности подачи проходит через минимум, природа которого связана с наличием сопутствующего фактора — увеличения толщины слоя пены сверх необходимой толщины слоя, обладающего изолирующими свойствами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Блинов В. И., Худяков Г. Н. Диффузионное горение жидкостей. — М.: АН СССР, 1961. — 208 с.
2. Петров И. И., Реутт В. Ч. Тушение пламени горючих жидкостей. — М.: Изд. МКХ РСФСР, 1961.
3. Дауэнгауэр С. А. Пожаротушение тонкораспыленной водой: механизмы, особенности, перспективы // Пожаровзрывобезопасность. — 2004. — Т. 13, № 6. — С. 78–81.
4. Ольшанский В. П., Ольшанский С. В. К расчету предельной дальности подачи испаряющихся тонкораспыленных огнетушащих веществ установками импульсного пожаротушения // Пожаровзрывобезопасность. — 2005. — Т. 14, № 4. — С. 67–70.

5. Корольченко Д. А., Громовой В. Ю., Ворогушин О. О. Применение тонкораспыленной воды для тушения пожаров в высотных зданиях // Вестник МГСУ. — 2011. — № 1-2. — С. 331–335.
6. Корольченко Д. А. Изменение характеристик горения горючей жидкости при тушении тонкораспыленной водой // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 5. — С. 79–80.
7. Шароварников А. Ф., Корольченко Д. А. Влияние дисперсности капель воды на эффективность тушения пожаров горючей жидкости // Пожаровзрывобезопасность. — 2013. — Т. 22, № 12. — С. 69–74.
8. Горшков В. И. Тушение пламени горючих жидкостей. — М.: Пожнаука, 2007. — 267 с.
9. Nash P. The essentials of dry powder and gaseous extinguishing systems // Fire Prev. — 1977. — No. 118. — P. 21–45.
10. Шароварников А. Ф., Корольченко Д. А. Тушение горючих жидкостей распыленной водой // Пожаровзрывобезопасность. — 2013. — Т. 22, № 11. — С. 70–74.
11. Корольченко Д. А., Шароварников А. Ф. Анализ двойственного механизма тушения пламени // Пожаровзрывобезопасность. — 2014. — Т. 23, № 12. — С. 59–68.
12. Корольченко Д. А., Шароварников А. Ф. Универсальность механизмов тушения пламени различными огнетушащими веществами // Пожаровзрывобезопасность. — 2014. — Т. 23, № 11. — С. 84–88.
13. 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.
14. Корольченко Д. А., Шароварников А. Ф. Тушение пламени огнетушащими порошками и аэрозольными составами // Пожаровзрывобезопасность. — 2014. — Т. 23, № 8. — С. 63–68.
15. Корольченко Д. А., Шароварников А. Ф. Особенности тушения пламени высокодисперсными газоаэрозольными системами // Пожаровзрывобезопасность. — 2014. — Т. 23, № 10. — С. 67–72.
16. Азатян В. В., Горшков В. И., Шебеко Ю. Н., Навценя В. Ю., Яшин В. Я., Корольченко Д. А. Основные факторы, определяющие воздействие газоаэрозольных огнетушащих составов на процессы горения // Пожаровзрывобезопасность. — 1997. — Т. 6, № 4. — С. 3–6.

Материал поступил в редакцию 5 июня 2015 г.

Для цитирования: Шароварников А. Ф., Мельников А. И. Экспериментальные исследования огнетушащей способности водных пленкообразующих растворов фторированных поверхностно-активных веществ // Пожаровзрывобезопасность. — 2015. — Т. 24, № 9. — С. 74–81. DOI: 10.18322/PVB.2015.24.09.74-81.

English

EXPERIMENTAL STUDIES OF FIRE EXTINGUISHING CAPACITY OF THE WATER FILM FORMING SOLUTIONS CONTAINING FLUORINATED SURFACTANTS

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)

MELNIKOV A. I., 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

On the basis of experimental studies of suppression of inflammable and flammable liquids flame by water film forming solutions it is revealed the mechanism of suppression of the flame which passes through the stage of formation of return emulsion during contact of solution drops with the burning surface. Dependence of specific consumption and suppression time of flammable and inflammable liquids flame on the flow rate of disperse streams of water solutions is received. Possibility of suppression of inflammable and flammable liquids by sprayed streams of the film-forming water solutions, containing fluorinated surfactants, is also revealed. It is experimentally established that dependence of solution specific consumption on the flow rate is pass through a minimum point nature of which is connected with existence of a contributing factor — increase of a foam layer thickness above necessary thickness possessing isolating properties.

Keywords: suppression of inflammable and flammable liquids flame; water film forming solution; fluorinated surfactants; fire extinguishing capacity; flow rate; suppression time.

REFERENCES

1. Blinov V. I., Khudyakov G. N. *Diffuzionnoye goreníye zhidkostey* [Diffusion burning of liquids]. Moscow, Russian Academy of Sciences Publ., 1961. 208 p.
2. Petrov I. I., Reutt V. Ch. *Tusheniye plameni goryuchikh zhidkostey* [Suppression of combustible liquids flame]. Moscow, Ministry of Utilities Sector Publ., 1961. 143 p.
3. Dauengauer S. A. Pozharotusheniye tonkoraspylennoy vody: mekhanizmy, osobennosti, perspektivy [Fire extinguishing with fine-dispersed water: mechanism, characteristics, perspectives]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2004, vol. 13, no. 6, pp. 78–81.
4. Olshanskii V. P., Olshanskii S. V. K raschetu predelnoy dalnosti podachi isparayushchikhsya tonkoraspylennykh ognnetushashchikh veshchestv ustanovkami impulsnogo pozharotusheniya [To a calculation of an extreme distance of the delivery of vaporable finely-sprayed fire extinguishing substances with the impulse fire extinguishing devices]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2005, vol. 14, no. 4, pp. 67–70.
5. Korolchenko D. A., Gromovoy V. Yu., Vorogushin O. O. Primeneniye tonkoraspylennoy vody dlya tusheniya pozharov v vysotnykh zdaniyakh [Fire extinguishing in tall buildings by using water mist systems]. *Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering*, 2011, no. 1-2, pp. 331–335.
6. Korolchenko D. A. Izmeneniye kharakteristik goreníya goryuchey zhidkosti pri tushenii tonkoraspylennoy vody [Changes in burning characteristics of the combustible liquid during suppression by finely atomized water]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 5, pp. 79–80.
7. 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 of combustible liquid]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2013, vol. 22, no. 12, pp. 69–74.
8. Gorshkov V. I. *Tusheniye plameni goryuchikh zhidkostey* [Extinguishing of combustible liquids' flame]. Moscow, Pozhnauka Publ., 2007. 267 p.
9. Nash P. The essentials of dry powder and gaseous extinguishing systems. *Fire Prev.*, 1977, no. 118, pp. 21–45.
10. Sharovarnikov A. F., Korolchenko D. A. Tusheniye goryuchikh zhidkostey raspylennoy vodoy [Extinguishing of combustible liquid by atomized water]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2013, vol. 22, no. 11, pp. 70–74.
11. Korolchenko D. A., Sharovarnikov A. F. Analiz dvoystvennogo mekhanizma tusheniya plameni [Analysis of the dual fire suppression mechanism]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2014, vol. 23, no. 12, pp. 59–68.
12. Korolchenko D. A., Sharovarnikov A. F. Universalnost mekhanizmov tusheniya plameni razlichnymi ognnetushashchimi veshchestvami [Universality of mechanisms of fire suppression by various extinguishing agents]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2014, vol. 23, no. 11, pp. 84–88.
13. Korolchenko D. A., Sharovarnikov A. F., Degaev Ye. N. Laboratornaya metodika opredeleniya izoliruyushchikh svoystv peny na poverkhnosti heptana [Laboratory standard technique for insulating properties of foam on heptane surface]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2014, vol. 23, no. 4, pp. 72–76.
14. Korolchenko D. A., Sharovarnikov A. F. Tusheniye plameni ognnetushashchimi poroshkami i aerezolnymi sostavami [Extinguishing of a flame by dry chemical powders and aerosol compositions]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2014, vol. 23, no. 8, pp. 63–68.
15. Korolchenko D. A., Sharovarnikov A. F. Osobennosti tusheniya plameni vysokodispersnymi gazoaerezolnymi sistemami [Features of fire extinguishing by finely dispersed gas-aerosol systems]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2014, vol. 23, no. 10, pp. 67–72.
16. Azatyan V. V., Gorshkov V. I., Shebeko Yu. N., Navtsenya V. Yu., Yashin V. Ya., Korolchenko D. A. Osnovnyye faktory, opredelyayushchiye vozdeystviye gazoaerezolnykh ognnetushashchikh sostavov na protsessy goreníya [Main factors that determine the exposure of aerosol fire-extinguishing agents on combustion processes]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 1997, vol. 6, no. 4, pp. 3–6.

For citation: Sharovarnikov A. F., Melnikov A. I. Eksperimentalnyye issledovaniya ognnetushashchey sposobnosti vodnykh plenkoobrazuyushchikh rastvorov ftorirovannykh poverkhnostno-aktivnykh veshchestv [Experimental studies of fire extinguishing capacity of the water film forming solutions containing fluorinated surfactants]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2015, vol. 24, no. 9, pp. 74–81. DOI: 10.18322/PVB.2015.24.09.74-81.