

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)

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 614.842.615

ТУШЕНИЕ ПЛАМЕНИ ГИДРОФОБНЫХ МАТЕРИАЛОВ ВОДНЫМИ РАСТВОРАМИ СМАЧИВАТЕЛЕЙ

Показано, что важнейшим условием эффективного тушения водой является способность водного раствора смачивать и растекаться по поверхности горящего изделия. Введение в водный раствор поверхностно-активных веществ — смачивателей делает его гидрофобным и повышает тем самым его смачивающую способность. Приведены параметры смачивания гидрофобной ткани водными растворами лаурилсульфата натрия. Сделаны предположения о зависимости средней толщины смачивающего слоя на твердой поверхности от интенсивности подачи воды. Выявлены характерные точки на кривых зависимости капиллярного давления от концентрации, такие как концентрация инверсии смачивания и максимальные значения капиллярного давления гидрофобной ткани.

Ключевые слова: смачиватель; гидрофобный материал; смачивающая способность растворов; концентрация инверсии смачивания; оптимальный режим тушения.

Тушение пожаров гидрофобных материалов, таких как изделия из резины, полимерные материалы, тюки хлопка, необработанные ткани, хранящиеся на складах, требуют повышенного расхода воды на тушение и последующую пропитку и увлажнение дисперсных изделий [1]. Вода подается на горящее изделие в виде струй грубого распыла, поскольку необходимо не только потушить пламя, но и охладить раскаленную поверхность твердого материала [2].

Важнейшим условием эффективного тушения водой является способность водного раствора смачивать и растекаться по поверхности горящего изделия [3]. Для повышения смачивающего действия водных растворов в их состав добавляют смачиватели — поверхностно-активные вещества (ПАВ) различной природы [4].

Выбор веществ, добавки которых позволяют обеспечить способность водного раствора смачивать гидрофобные материалы, базируется на определении поверхностной активности водных растворов на границе с воздухом и гидрофобным материалом. Поскольку измерение поверхностного натяжения твердой поверхности на границе с водным раствором очень сложно, в качестве гидрофобного материала используют гептан — жидкость с низким поверхностным натяжением [5].

Показателем смачивающего действия водного раствора является величина краевого угла смачивания ϕ (град) раствором твердой поверхности [6]. Чем меньше угол смачивания, тем больше площадь,

занимаемая каплей воды и тем тоньше ее слой на твердой поверхности [7].

Вода без добавок будет стекать на землю в виде ручейков, практически не участвуя в процессе тушения и не препятствуя распространению пламени. В силу этого поверхность будет оставаться практически сухой, несмотря на то что по ней протекала вода.

Если горячая поверхность материала сплошная, непористая, например как у резины или синтетических материалов, то при краевом угле смачивания, близком к нулю, капля жидкости будет растекаться по ней, образуя слой некоторой минимальной толщины.

Величина краевого угла смачивания определяется природой поверхности и составом водного раствора. Вода без добавок не смачивает поверхность “гидрофобных” материалов, таких как резина, хлопок, торф и уголь, зато хорошо смачивает хлопчатобумажную ткань, бумагу и дерево.

При введении в водные растворы ПАВ они концентрируются на границе раздела *вода – твердое тело*, делая природу поверхностного слоя воды гидрофобной. Это обусловлено тем, что молекулы ПАВ, выстраиваясь на поверхности частокотлом, образуют плотный мономолекулярный слой, в котором молекулы ориентированы гидрофобными конусами к твердой поверхности. В результате такая жидкость будет хорошо смачивать “родственную” теперь ей твердую поверхность [8].

Таблица 1. Параметры смачивания гидрофобной ткани разной толщины водными растворами ЛСН

Параметр	Значение параметра для слоя глубиной l , мм						
	1,0	2,0	3,0	4,0	6,0	7,0	8,0
Время смачивания τ , с	4	8	12	16	40	52	76
Скорость смачивания U_s , мм/мин	15,0	15,0	15,0	15,0	9,0	7,8	6,0
$\sqrt{\tau}$, с ^{1/2}	2,0	2,8	3,5	4,0	6,3	7,2	8,7

При попадании жидкости на пористую поверхность (например, ткани) процессу растекания будет предшествовать капиллярная пропитка материала водой. Для таких горючих материалов, как торф или хлопок, растекание в чистом виде проявится только на завершающей стадии тушения, поэтому определяющим в данном случае будет капиллярное смачивание.

Условием капиллярного смачивания, так же как и растекания, является значение краевого угла смачивания менее 90° . Только в этом случае появится движущая сила смачивания — капиллярное давление, и жидкость под действием атмосферного давления будет впитываться в поры твердого материала, причем усилие будет тем выше, чем меньше размер пор. Добавление в раствор молекул ПАВ-смачивателей резко уменьшает краевой угол смачивания ϕ жидкостью твердой поверхности, поэтому мениск внутри капилляра формируется вогнутым в сторону канала, свободного от раствора [9, 10].

Скорость растекания капли при условии, что $\phi \leq 90^\circ$, определяется величиной коэффициента растекания f_σ , который рассчитывается по формуле

$$f_\sigma = \sigma_\tau - (\sigma_{\tau\kappa} + \sigma_{\kappa\sigma} \cos \phi),$$

где σ_τ , $\sigma_{\tau\kappa}$ — поверхностное и межфазное натяжение твердого тела, мН/м;

$\sigma_{\kappa\sigma}$ — поверхностное натяжение на границе *раствор – воздух*, мН/м.

Смачивающую способность растворов проверяют по методике, описанной в ГОСТ Р 50588–2012. Она определяется временем, в течение которого происходит протекание раствора через гидрофобную ткань. Для увеличения толщины слоя материала в устройство поочередно устанавливают различное число кружков ткани, укладывая их вплотную в прижимное устройство. Параметры смачивания гидрофобной ткани водными растворами лаурилсульфата натрия (ЛСН) представлены в табл. 1.

При контакте твердой поверхности с водным раствором на границе раздела фаз формируется угол смачивания, от величины которого зависит капиллярное давление ΔP (Па), определяемое по формуле Лапласа

$$\Delta P = 2\sigma_{\kappa\sigma} \cos \phi / r, \quad (1)$$

где r — средний радиус капилляров, мм.

В зависимости от величины угла смачивания в капиллярах формируется вогнутый или выпуклый мениск жидкости. Под вогнутым мениском жидкости в порах гидрофобной ткани давление ниже атмосферного, поэтому под действием капиллярного давления раствор перемещается в толщу пористой системы. С учетом формулы Лапласа глубина смачивания l (м) будет определяться по формуле

$$l = \left(\frac{\sigma R \cos \phi}{2\eta} \right)^{1/2} \tau^{1/2}, \quad (2)$$

где R — радиус кривизны мениска, м;

η — коэффициент вязкости, Па·с;

τ — время смачивания, с.

Скорость смачивания найдем, преобразовав формулу (2):

$$U_s = A / \tau^{1/2}, \quad (3)$$

где

$$A = \left(\frac{\sigma R \cos \phi}{\eta} \right)^{1/2}. \quad (4)$$

Из формулы (3) следует, что скорость смачивания будет снижаться со временем или с глубиной пропитки:

$$U_s = \frac{1}{l} \frac{\sigma R \cos \phi}{2\eta}. \quad (5)$$

Зависимость параметров смачивания гидрофобной ткани водными растворами ЛСН от их концентрации показана в табл. 2.

Вода практически не смачивает поверхность торфа, хлопка, угля и резинотехнических изделий. Соответственно, краевой угол смачивания водой этих материалов больше 90° , поэтому самопроизвольное смачивание и пропитка таких материалов, называемых гидрофобными, невозможны [11]. Если в качестве модели гидрофобного высокодисперсного ма-

Таблица 2. Скорость и время смачивания гидрофобной ткани водными растворами ЛСН различной концентрации

Параметр	Значение параметра при концентрации раствора ЛСН, % масс.				
	0,065	0,070	0,075	0,150	0,300
Время смачивания τ , с	200	100	51	10	4
Скорость смачивания U_s , мм/мин	0,3	0,6	1,2	6,0	21,5

териала взять необработанную хлопковую ткань — саржу, то можно рассмотреть количественную картину влияния добавок смачивателей — ПАВ на характер взаимодействия раствора с гидрофобной поверхностью.

Без добавок смачивателей капля или слой раствора будет находиться на поверхности ткани, практически ее не смачивая. На модели пористой системы (рис. 1) показаны условия, при которых капля воды смачивает (фрагмент А) и не смачивает (фрагмент В) капилляры пористой гидрофобной ткани. Как видно из рис. 1, по мере увеличения концентрации ПАВ форма капли будет меняться, а угол смачивания будет постепенно уменьшаться от 180° до 90° и менее.

При уменьшении угла смачивания до 90° и менее происходит качественное изменение состояния капли: она постепенно начинает растекаться по поверхности ткани и одновременно впитываться, проникая в ее поры. При низкой концентрации ПАВ время прохождения раствором слоя ткани толщиной 0,5 мм составляет 100...300 с, т. е. скорость пропитки очень мала — примерно 0,0002 мм/с (0,2 мкм/с).

При больших концентрациях смачивателя угол смачивания достигает 10° ... 15° , при этом скорость смачивания возрастает на 2...3 порядка, достигая 0,02...0,05 мм/с.

Постепенное увеличение содержания ПАВ в растворе ведет к изменению характера смачивания, а именно к инверсии смачивания. При этом если концентрация ПАВ меньше концентрации инверсии смачивания (КИС), раствор выталкивается из пор гидрофобной ткани, а если больше КИС, жидкость самопроизвольно, под действием капиллярного давления, затекает в капилляры пористой системы. Таким образом, величина КИС является минимальной концентрацией смачивателя, при которой еще происходит смачивание ткани, но с очень низкой скоростью.

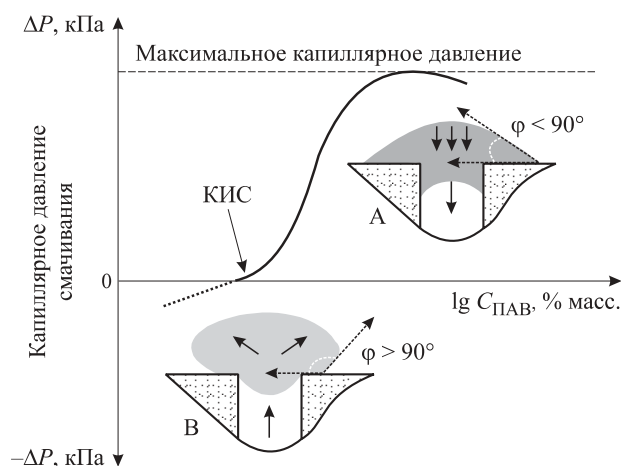


Рис. 1. Влияние концентрации ПАВ $C_{ПАВ}$ на характер смачивания гидрофобной поверхности водными растворами: А — смачивание есть; В — смачивание отсутствует

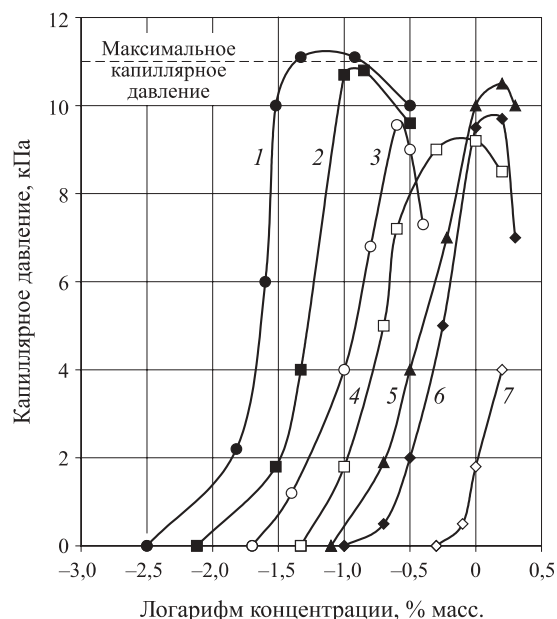


Рис. 2. Зависимость капиллярного давления смачивания водных растворов от содержания добавок ПАВ различной природы: 1 — нонилфенол $C_9H_{19}C_6H_4O(C_2H_4O)_7OH$; 2 — нонилфенол $C_9H_{19}C_6H_4O(C_2H_4O)_{10}OH$; 3 — ЛСН; 4 — катионное фторированное ПАВ с тримерным радикалом (тример); 5 — вторичные алкилсульфаты натрия (ВАСН) C_8-C_{12} ; 6 — катионное углеводородное ПАВ цетилапиридиний хлорид (ЦПХ); 7 — изонилфенол $C_6H_{13}(C_3H_7)C_6H_4O(C_2H_4O)_7OH$

Характерная зависимость капиллярного давления смачивания водного раствора от содержания ПАВ приведена на рис. 2.

Капиллярное давление смачивания гидрофобной ткани определяли на экспериментальной установке (рис. 3), схема которой принципиально не отличается от установки, использованной для определения капиллярного давления в пене различной кратности [3].

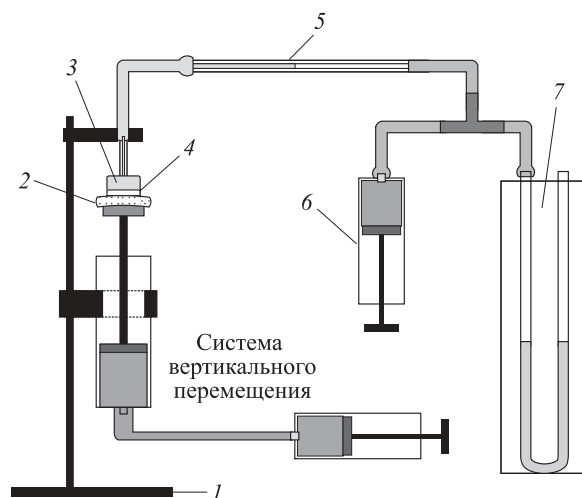


Рис. 3. Схема установки для измерения капиллярного давления смачивания гидрофобной ткани водными растворами смачивателей: 1 — держатель; 2 — гидрофобный материал; 3 — испытуемый раствор; 4 — ячейка с пористым фильтром; 5 — измерительный капилляр; 6 — измерительный шприц; 7 — манометр водяной

Для приведения в соприкосновение гидрофобной ткани с измерительным датчиком вертикально перемещали плунжер шприца, соединенного с аналогичным шприцем, с помощью которого регулируется положение ткани.

При соприкосновении пористого датчика с гидрофобной тканью раствор из датчика через пористый фильтр вытягивается капиллярами ткани. Чем меньше краевой угол смачивания, тем большее давление развивается в капиллярах ткани. Сообщающаяся с датчиком линия раствора, установленная до испытаний в определенную позицию в измерительном стеклянном капилляре, начинает перемещаться в сторону датчика. Экспериментатор, перемещая плунжер в измерительном шприце, возвращает положение жидкости в капилляре в исходное положение, создавая в водном растворе небольшое разрежение. Водяной манометр при этом показывает капиллярное давление, которое соответствует заданной концентрации смачивателя.

Участок экспериментальной кривой зависимости капиллярного давления от концентрации смачивателя получен путем компенсации внешним давлением капиллярного давления смачивания раствора в порах ткани.

Результаты экспериментальных измерений, представленных на рис. 2, показывают, что наилучшей смачивающей способностью обладают оксиэтилированные нонилфенолы с числом оксигрупп 7–10. Все кривые имеют характерную S-образную форму, начиная с определенной концентрации, которая обусловлена смачивающей способностью молекул ПАВ по отношению к гидрофобной поверхности. На первом участке по мере увеличения концентрации ПАВ в водном растворе капиллярное давление сначала медленно, а затем быстро повышается, достигая максимального значения — 10–12 кПа. Дальнейшее увеличение концентрации ПАВ во всех исследованных системах ведет к резкому снижению капиллярного давления. Полученные результаты могут быть объяснены с использованием формулы Лапласа (1). В соответствии с этой формулой такая зависимость экспериментальных кривых обусловлена изменением краевого угла смачивания от 90° в начале кривой, где $\cos\varphi = 0$, до 0° в области, где капиллярное давление достигает максимума, а $\cos\varphi = 1$. Различие в величинах максимального капиллярного давления, наблюдаемое при использовании различных растворов, может быть обусловлено в соответствии с формулой Лапласа различным поверхностным натяжением водных растворов.

В табл. 3 приведены результаты расчета смачивающей способности и критических концентраций мицеллообразования (ККМ), которые определяли по изомерам поверхностного натяжения. Вещества в

Таблица 3. Смачивающая способность гидрофобной ткани растворами ПАВ

ПАВ	ККМ, % масс.	КИС		ω , моль ⁻¹	$C_{кр}/ККМ$
		% масс.	моль/л		
ПОЭ	0,012	0,046	0,66	118,0	3,80
ЛСН	0,230	0,125	4,30	18,0	0,54
ВАСН	0,400	0,186	0,20	7,7	0,47
ЦПХ	0,050	0,250	7,30	2,0	5,00

табл. 3 расположены в порядке убывания смачивающей способности. Как видно из табл. 3, наилучшей смачивающей способностью обладают полиоксэтилированные алкилфенолы (ПОЭ), а катионные соединения (цетилпиридинийхлорид) имеют самую высокую концентрацию инверсии смачивания и наихудшую смачивающую способность ω . Одновременно со снижением смачивающей способности ω уменьшается и концентрация инверсии смачивания ткани.

Сопоставление числовых значений критической концентрации ПАВ $C_{кр}$ и ККМ показывает, что растворы ЛСН и ВАСН начинают смачивать ткань при концентрациях, которые наполовину меньше критической концентрации мицеллообразования, т. е. пропитка обеспечивается молекулярной адсорбцией. Для ПОЭ и ЦПХ смачивание наблюдается при концентрации в 4...5 раз выше ККМ и реализуется за счет адсорбции мицеллярных комплексов ПАВ. Несмотря на одинаковый “мицеллярный механизм” смачивания, ПОЭ обладают резко выраженной смачивающей способностью ($\omega = 118$ моль⁻¹) в отличие от ЦПХ ($\omega = 2,0$ моль⁻¹).

По абсолютному значению КИС можно определить оптимальное содержание ПАВ в растворе смачивателя, используемого для пропитки горючих высокодисперсных систем (например, торфа, хлопка и тканых материалов). Впитывание раствора в капилляры дисперсной системы будет продолжаться до тех пор, пока содержание ПАВ обеспечивает угол смачивания жидкости $\varphi < 90^\circ$, что реализуется при условии $C_{ПАВ} > C_{кр}$. Чем выше дисперсность материала, тем больше его удельная площадь поверхности. По мере пропитки раствор теряет молекулы ПАВ, которые адсорбируются на поверхности гидрофобной ткани, способствуя ее смачиванию и протеканию воды вглубь ткани. Чем большую площадь поверхности предстоит смочить, тем выше должна быть исходная концентрация смачивателя.

Для проведения огневых испытаний по тушению гидрофобных материалов использовали струи воды грубого распыла со средним размером капель около 100 мкм. Капли такого размера практически не испаряются в зоне горения и взаимодействуют

непосредственно с горящей поверхностью твердого материала [12]. В этой ситуации очень важна роль смачивателя в обеспечении длительного контакта водного раствора с раскаленной поверхностью, что способствует отъему тепла с нее за счет испарения капель.

При описании модели процесса тушения твердых горючих материалов (ТГМ) водой грубого распыла приняты следующие исходные положения:

- растекание капли по поверхности ТГМ происходит под действием силы поверхностного натяжения, т. е. масса капли невелика, ее диаметр составляет порядка 1,5 мм;
- основная часть капель воды испаряется при непосредственном контакте с поверхностью ТГМ;
- условием тушения является образование на всей горящей поверхности ТГМ слоя воды с минимальной толщиной h_0 (м);
- средняя толщина водного слоя на поверхности ТГМ к моменту тушения зависит от интенсивности подачи воды.

Степень покрытия водой горящей поверхности ТГМ θ представлена формулой

$$\theta = S/S_0, \quad (6)$$

где S_0 , S — площадь исходной поверхности горения и поверхности, покрытой слоем воды, м^2 .

Тушение достигается при условиях: $\theta = 1$ и $\tau = \tau_t$ (где τ_t — время тушения, с).

Уравнение материального баланса воды, поданной на тушение:

$$\underbrace{q \Delta \tau}_{\text{[поступление воды]}} = \underbrace{\theta S_0 U \Delta \tau}_{\text{[испарение]}} + \underbrace{\rho \bar{h}_0 S_0 \Delta \theta}_{\text{[накопление]}} \quad (7)$$

где q — расход воды на тушение, кг/с ;

U — интенсивность испарения воды, $\text{кг}/(\text{с} \cdot \text{м}^2)$;

$\bar{h}_0$ — исходная (начальная) высота слоя, м;

ρ — плотность воды, кг/м^3 .

Разделим переменные и проведем интегрирование в пределах: $\theta = 0$, $\tau = 0$; $\theta = 1$, $\tau = \tau_t$:

$$\tau_t = -\frac{\rho \bar{h}}{U} \ln \left(1 - \frac{S_0 U}{q} \right), \quad (8)$$

где $\bar{h}$ — средняя толщина слоя, м.

Для определения параметров оптимального режима процесса тушения аналогично приемам, использованным в работах [12, 13], сделано предположение о зависимости средней толщины смачивающего слоя на твердой поверхности от интенсивности подачи воды. Средняя толщина слоя воды определяется следующими условиями:

$$\bar{h} = \frac{h_q + h_0}{2} = \frac{h_q}{2}; \quad h_q > h_0, \quad (9)$$

где h_q — толщина смачивающей пленки, зависящей от расхода воды q .

Для установившегося режима течения воды через сечение капли S_δ скорость течения U_Π (м/с) определяется как

$$U_\Pi = q/S_\delta = q/(h_q L_\kappa),$$

откуда

$$h_q = q/(U_\Pi L_\kappa), \quad (10)$$

где L_κ — периметр линии растекания, м.

Из анализа растекания жидкости под действием сил поверхностного натяжения (рис. 5), проведенного на базе уравнения Навье–Стокса, получено соотношение

$$U_\Pi = 4\Delta\sigma/(\pi\chi\eta L_\kappa), \quad (11)$$

где χ — коэффициент радиального растекания.

Решив совместно формулы (10) и (11) относительно h_q , получим:

$$h_q = q^{1/2} \left(\frac{\pi\chi\eta}{4\Delta\sigma} \right)^{1/2}. \quad (12)$$

Введем параметр интенсивности, который равен: $J = q/S_0$, а $U_\Pi = J_{\text{кр}}$. Подставив выражение для $\bar{h}$ через h_q в формулу (12), получим:

$$\tau_t = \left(\frac{\pi\chi\eta}{4\Delta\sigma} \right)^{1/2} \frac{\rho}{U_\Pi} q^{1/2} \ln \left(1 - \frac{J_{\text{кр}}}{J} \right), \quad (13)$$

где J , $J_{\text{кр}}$ — интенсивность и критическая интенсивность подачи воды, $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$.

Проведенный анализ процесса тушения гидрофобных горючих материалов показывает влияние на время тушения величины поверхностного натяже-

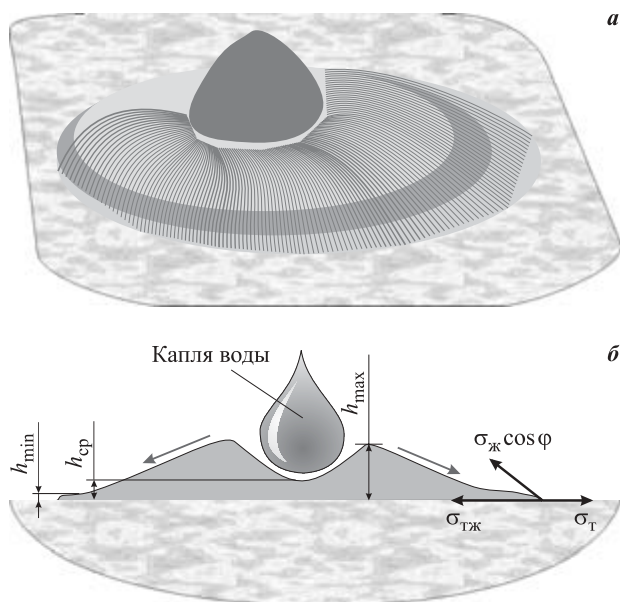


Рис. 5. Общий вид формирования слоя воды в режиме смачивания гидрофобной поверхности каплями водного раствора (а) и схема направления сил, приложенных к периметру смачивания (б)

ния. В экспериментальных исследованиях поверхностной активности вместо гидрофобного материала использовали типично гидрофобную органическую жидкость — гептан, а в качестве добавок ПАВ — вещества с различным коэффициентом растекания водных растворов по гептану.

Для огневых испытаний за основу была принята методика [14, 15], разработанная для определения интенсивности подачи огнетушащего вещества применительно к автоматическим установкам пожаротушения. Для проведения опытов была выбрана загрузка в виде резиновых трубок длиной 140 мм, с наружным диаметром 15 мм и внутренним 6 мм. Из трубок выкладывался штабель размером 140×140×120 мм с количеством рядов по горизонтали 4, по вертикали — 8. Зажигание резины осуществлялось гептаном объемом 20 см³, налитым в плошку, которую помещали под штабелем. Результаты испытаний по определению скорости выгорания штабеля резины показали, что время свободного горения его до подачи огнетушащего вещества (штабель весь охвачен пламенем, скорость выгорания максимальна) принята равным 240 с.

Для приготовления рабочих растворов ПАВ использовали представители анионного и катионного ряда и питьевую воду. Причем катионное ПАВ имело фторированный радикал, поэтому отличалось высокой поверхностной активностью, а поверхностное натяжение водных растворов составляло около 18 мН/м.

Результаты экспериментальных измерений представлены на рис. 6 в виде кривых зависимости времени тушения и удельного расхода водного раствора, необходимого на тушение пламени, от интенсивности подачи его в виде струи грубого распыла. Как видно из графиков, критическая интенсивность подачи воды при тушении резины заметно снижается. Кроме того, наблюдается снижение и удельного расхода раствора с 24 кг/м² при тушении водой без добавок до 9 кг/м² при введении в нее катионного ПАВ. Этот эффект может быть связан с резким уменьшением краевого угла смачивания при использовании ПАВ.

Проведенные исследования водных растворов с добавками различных ПАВ позволили выявить ха-

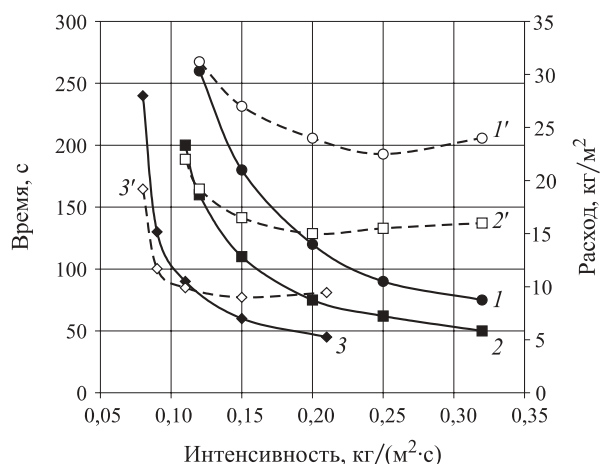


Рис. 6. Зависимость времени тушения штабеля резины (1–3) и удельного расхода воды и водных растворов (1'–3') от интенсивности их подачи: 1, 1' — вода; 2, 2' — анионное ПАВ — ВАСН; 3, 3' — катионное ПАВ — тример

рактерные точки на кривых зависимости капиллярного давления от концентрации, такие как КИС и максимальные значения капиллярного давления гидрофобной ткани.

Тушение твердых гидрофобных горючих материалов водными растворами показало, что добавки смачивателей позволяют снизить критическую интенсивность и удельный расход огнетушащего вещества в три раза.

Для получения объективной картины применения ПАВ в качестве смачивателей необходимо провести сравнительные испытания в широком диапазоне концентраций смачивателей с использованием методики измерения капиллярного давления гидрофобных пористых материалов.

Во многих случаях влияние ПАВ на скорость смачивания оказывается более сложным. Весьма часто значительную роль играют процессы, влияющие на скорость образования адсорбционного слоя на поверхности контакта жидкости с другими фазами, участвующими в процессе смачивания. В свою очередь, скорость формирования адсорбционного слоя зависит от ряда физико-химических факторов, прежде всего от скорости диффузии молекул ПАВ из объема жидкости на ее поверхность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Былинкин В. А. Определение критической интенсивности подачи воды и раствора смачивателя при тушении резины // Пожаротушение : сб. науч. тр. — М. : ВНИИПО, 1986. — С. 68–72.
2. Шрайбер Г., Порст П. Огнетушащие средства. Химико-физические процессы при горении и тушении. — М. : Стройиздат, 1975. — 240 с.
3. Шароварников А. Ф., Шароварников С. А. Пенообразователи и пены для тушения пожаров. Состав, свойства, применение. — М. : Пожнаука, 2005. — 474 с.

4. *Корольченко А. Я., Корольченко Д. А.* Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения : справочник: в 2 ч. — 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Пожнаука, 2004. — Ч. I. — 713 с.
5. *Шароварников А. Ф., Молчанов В. П., Воевода С. С., Шароварников С. А.* Тушение пожаров нефти и нефтепродуктов. — М. : Изд. дом “Калан”, 2002. — 448 с.
6. *Roudman Anna R., DiGiano Francis A.* Surface energy of experimental and commercial nanofiltration membranes: effects of wetting and natural organic matter fouling // *Journal of Membrane Science*. — 2000. — Vol. 175, Issue 1. — P. 61–73.
7. *Сумм Б. Д.* Гистерезис смачивания // *Соросовский образовательный журнал*. — 1999. — № 7. — С. 98–102.
8. *Шароварников А. Ф., Корольченко Д. А.* Тушение горючих жидкостей распыленной водой // *Пожаровзрывобезопасность*. — 2013. — Т. 22, № 11. — С. 70–74.
9. *Ширяева С. О., Григорьев О. А.* О капиллярном движении вязкоупругой жидкости с заряженной свободной поверхностью // *ЖТФ*. — 2000. — Т. 70, Вып. 8. — С. 39–45.
10. *De Gennes P. G.* Wetting: Statics and Dynamics // *Reviews of Modern Physics*. — 1985. — Vol. 57, No. 3. — P. 827–863. doi: 10.1103/RevModPhys.57.827.
11. *Елисеєв В. І., Луценко В. І.* Статистичні гістерезисні явища в капілярах // *Геотехнічна механіка: Міжвід. зб. наук. праць ІГТМ НАН України*. — Дніпропетровськ, 2006. — Вип. 66. — С. 157–163.
12. *Корольченко Д. А., Шароварников А. Ф.* Анализ двойственного механизма тушения пламени // *Пожаровзрывобезопасность*. — 2014. — Т. 23, № 12. — С. 59–68.
13. *Шароварников А. Ф., Корольченко Д. А.* Влияние дисперсности капель воды на эффективность тушения пожаров горючей жидкости // *Пожаровзрывобезопасность*. — 2013. — Т. 22, № 12. — С. 69–74.
14. Методика определения интенсивности подачи распыленной воды при тушении пожаров горючих веществ и материалов в помещениях экспресс-методом применительно к спринклерно-дренчерной системе пожаротушения (№ 54-80). — М. : ВНИИПО, 1980. — 16 с.
15. *Росляков В. И., Гришин В. В., Аксенов В. П.* Экспериментальное исследование тушения пламени твердых горючих материалов // *Горение и проблемы тушения пожаров : тезисы VI Всесоюзной научно-практической конференции*. — М. : ВНИИПО, 1979. — С. 234–239.

Матеріал надійшов у редакцію 15 січня 2015 г.

English

EXTINGUISHING FLAMES OF HYDROPHOBIC MATERIALS BY WATER SOLUTIONS OF WETTING AGENT

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)

ABSTRACT

It is shown that the key to effective suppression of water is the ability of an aqueous solution to wet and spread over the surface of the burning products. Introduction of the aqueous solution of surfactant — wetting agent is making it hydrophobic and thereby enhances its wetting ability. The parameters of the wetting of the hydrophobic fabric with aqueous solutions of sodium lauryl sulfate are presented. There are made assumptions about the dependence of the average thickness of the wetting layer on a solid surface on the intensity of the water supply. The characteristic points on curves of capillary pressure on the concentration are established, such as the concentration of inversion of wetting and maximum capillary pressure hydrophobic fabric.

Keywords: wetting agent; hydrophobic material; wetting ability of solutions; concentration inversion wetting; optimal mode extinguishing.

REFERENCES

1. Bylinkin V. A. Opredeleniye kriticheskoy intensivnosti podachi vody i rastvora smachivatelya pri tushenii reziny [Determination of the critical feed rate of the wetting agent solution and the water in extinguishing rubber]. *Pozharotusheniye: sb. nauch. tr.* [Fire extinguishing. Collected scientific papers]. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 1986, pp. 68–72.
2. Shrayber G., Porst P. *Ognetushashchiye sredstva. Khimiko-fizicheskiye protsessy pri gorenii i tushenii* [Extinguishing media. Chemical-physical processes in combustion and extinguishing]. Moscow, Stroyizdat, 1975. 240 p.
3. Sharovarnikov A. F., Sharovarnikov S. A. *Penoobrazovateli i peny dlya tusheniya pozharov. Sostav, svoystva, primeneniye* [Foam concentrates and fire extinguishing foams. Structure, properties, application]. Moscow, Pozhnauka Publ., 2005. 474 p.
4. Korolchenko A. Ya., Korolchenko D. A. *Pozharovzryvoopasnost veshchestv i materialov i sredstva ikh tusheniya: spravochnik. 2-e izd.* [Fire and explosion hazard of substances and materials and their means of fighting. Reference. 2nd ed.]. Moscow, Pozhnauka Publ., 2004. Part I, 713 p.
5. Sharovarnikov A. F., Molchanov V. P., Voevoda S. S., Sharovarnikov S. A. *Tusheniye pozharov nefi i nefteproduktov* [Fire extinguishing of oil and oil products]. Moscow, Kalan Publ., 2002. 448 p.
6. Roudman Anna R., DiGiano Francis A. Surface energy of experimental and commercial nanofiltration membranes: effects of wetting and natural organic matter fouling. *Journal of Membrane Science*, 2000, vol. 175, issue 1, pp. 61–73.
7. Summ B. D. Gisterezis smachivaniya [Wetting hysteresis]. *Sorosovskiy obrazovatelnyy zhurnal — Soros Educational Journal*, 1999, no. 7, pp. 98–102.
8. Sharovarnikov A. F., Korolchenko D. A. Tusheniye goryuchikh zhidkostey raspyslennoy vodoy [Extinguishing of combustible liquid by atomized water]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2013, vol. 22, no. 11, pp. 70–74.
9. Shiryayeva S. O., Grigoryev O. A O kapillyarnom dvizhenii vyazkouprugoy zhidkosti s zaryazhennoy svobodnoy poverkhnostyu [About capillary movement of viscoelastic fluid with free surface of a charged]. *Zhurnal tekhnicheskoy fiziki — Technical Physics*, 2000, vol. 70, issue 8, pp. 39–45.
10. De Gennes P. G. Wetting: Statics and Dynamics. *Reviews of Modern Physics*, 1985, vol. 57, no. 3, pp. 827–863. doi: 10.1103/RevModPhys.57.827.
11. Yeliseev V. I., Lutsenko V. I. Statischekiye gisterezisnyye yavleniya v kapillyarakh [Static hysteresis phenomena in capillaries]. *Geotekhnicheskaya mekhanika: mezhvedomstvennyy sbornik nauchnykh trudov* [Geo-Technical Mechanics: Journal of Collected Scientific Papers]. Dnepropetrovsk, Institute of Geotechnical Mechanics of the National Academy of Science of Ukraine Publ., 2006, issue 66, pp. 157–163.
12. Korolchenko D. A., Sharovarnikov A. F. Analiz dvoystvennogo mekhanizma tusheniya plameni [Analysis of the dual fire suppression mechanism]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2014, vol. 23, no. 12, pp. 59–68.
13. 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]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2013, vol. 22, no. 12, pp. 69–74.
14. Method of determining the flow rate of water spray when fighting fires of flammable substances and materials in the premises express method as applied to the sprinkler, deluge fire suppression system (No. 54-80). Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 1980. 16 p. (in Russian).
15. Roslyakov V. I., Grishin V. V., Aksenov V. P. Eksperimentalnoye issledovaniye tusheniya plameni tverdykh goryuchikh materialov [Experimental study of extinguish flames of solid combustible materials]. *Goreniye i problemy tusheniya pozharov. Tezisy VI Vsesoyuznoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Burning and fire-fighting problems. Abstracts of VI All-Union Scientific-and-Practical Conference]. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 1979, pp. 234–239.