

*В.В. Коврегин, канд. техн. наук<sup>1</sup>, В.Д. Калугин, д-р хим. наук, профессор<sup>1</sup>  
М.В. Кустов, канд. техн. наук<sup>1</sup>, О.В. Сидоренко, канд. техн. наук<sup>2</sup>  
(Национальный университет гражданской защиты Украины<sup>1</sup>  
(Харьковский национальный педагогический университет им. Г.С. Сковороды<sup>2</sup>)*

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОЖАРОТУШАЩИХ СОСТАВОВ НА ОСНОВЕ ВОДЫ ЗА СЧЁТ ДОБАВОК РАЗЛИЧНЫХ РЕАГЕНТОВ

Рассмотрены способы повышения эффективности пожаротушащих свойств составов на основе воды, базирующиеся на определении вклада каждого компонента эмульсии в общий механизм подавления процесса горения. Установлено, что вклад каждого из компонентов эмульсии (электролиты, поверхностноактивные вещества, высокомолекулярные соединения, пропелленты), отвечает определённому механизму пожаротушения. На основе обобщения результатов экспериментальных данных высказаны представления о возможных путях решения фундаментальной проблемы пожаротушения – повышения огнетушащей способности жидких дисперсных систем.

*Ключевые слова:* механизмы тушения, жидкие огнетушащие составы, эффективность составов.

**Постановка проблемы.** Как показал анализ чрезвычайных ситуаций (ЧС) в мире, за последнее время аварии, связанные с разливом и возгоранием химически опасных веществ, вызывают наибольшие трудности с ликвидацией их последствий. Наиболее эффективным способом ликвидации таких ЧС является изоляция восстановителей – горючего материала от окислительных компонентов окружающей среды, что эффективно реализуется путём использования воздушно-механических пен. Основным недостатком при использовании воздушно-механических пен является малая дальность их подачи, что существенно затрудняет технологию процесса ликвидации последствий пожара, так как аварийно-спасательные подразделения не могут обеспечить эффективную доставку воздушно-механической пены в зону активного горения из-за, например, высокой температуры пламени, высокого уровня химической опасности выделяющихся газообразных продуктов. В этой связи одной из проблем, подлежащей решению, является разработка методики установления влияния физико-химической природы механизмов тушения, повышения огнетушащей способности различных гетерогенных многокомпонентных составов (за счёт повышения долевого вклада добавок огнетушащего раствора в суммарный эффект пожаротушения) и увеличение дальности подачи изолирующих пен, которая определяется сохранностью особых физико-химических и физико-механических свойств жидкой системы в процессе открытой доставки её в зону пожара и взрывоподобным образованием пены для решения задачи ликвидации последствий чрезвычайной ситуации.

**Анализ последних достижений и публикаций.** Из литературных источников [1-3] известно, что существует четыре основных механизма прекращения горения: охлаждение, ингибирование, изоляция и флегматизация. Предшествующими исследованиями установлено, что в методическом отношении, как правило, предлагаемые модификации огнетушащих систем повышают свою огнетушащую способность за счёт повышения эффективности проявления какого-либо одного механизма тушения [4]. Однако в настоящее время, на основе этих подходов и собственных результатов эксперимента, нами установлено, что большей огнетушащей эффективностью обладают многокомпонентные жидкие составы, способные задействовать сразу несколько механизмов пожаротушения [5, 6]. Нами также установлено, что существенного увеличения дальности подачи пены можно добиться за счёт образования её непосредственно на поверхности изолируемого материала за счёт вскипания пропеллента (компонента эмульсии). Эмульсии, генерирующие пены непосредственно в очаге пожара, называют самовспенивающимися эмульсиями [7, 8].

**Цель работы.** Рассмотрение влияния компонентов, обеспечивающих максимальное действие механизмов прекращения горения при тушении пожаров многокомпонентными составами.

**Объекты и методики исследования.** Объектом исследования является процесс пожаротушения с помощью эмульсий на базе воды и пути повышения их огнетушащей эффективности. Предметом исследования являются составы на базе воды и легкокипящих нераст-

воримых в воде органических жидкостей (пропеллентов), веществ различного функционального назначения (ПАВ, ВМС и электролиты) для тушения пожаров.

Экспериментальные исследования проведены с использованием стандартных методик тушения модельных очагов пожара, классов 2А и 13В (ДСТУ 3675-98). Методика расчётов затрат огнетушащего материала по определённым механизмам тушения базируется на данных расхода огнетушащего материала, содержащего только отдельные различные компоненты, и смеси на основе нескольких компонентов, включая высокодисперсную фазу пропеллентов [9]. Приготовление растворов пожаротушения, определение расхода растворов на тушение (с учетом неиспользованной массы) выполнено с использованием метода гравиметрии.

**Изложение основного материала.** При подавлении процесса горения в очаге пожара различными огнетушащими составами задействуются практически все механизмы тушения, при этом доминирующая роль зачастую может принадлежать лишь одному механизму, а вклад остальных механизмов может оставаться незначительным. В этой связи при рассмотрении механизмов тушения с малым долевым вкладом в суммарный эффект тушения, последними, как правило, пренебрегают с достаточной степенью точности. Так, например, при тушении водой и водными растворами смачивателей (ПАВ) или загустителей (ВМС) превентивно работает механизм охлаждения объемной зоны горения и поверхности горючего материала; в случае тушения различными пенами доминирующую роль играет механизм изоляции горючего вещества от окислителя; при рассмотрении огнетушащего действия хладонов и большинства порошков преобладает механизм ингибирования каталитических центров пламени, а при использовании инертных газов и паров работает механизм флегматизации.

В результате обработки литературных данных предшествующих исследований [1-5] установлено, что наиболее перспективными системами, способными задействовать при тушении пожара максимальное количество механизмов прекращения горения, являются жидкие системы, а именно истинные и коллоидные растворы на основе самого распространённого и доступного растворителя – воды.

На основе результатов анализа различных способов повышения огнетушащей способности воды и результатов системного изучения основных факторов, способствующих подавлению процесса горения, нами построена блок-схема различных механизмов пожаротушения, представленная на рис. 1. Дугами показана взаимосвязь механизмов тушения.

Для подтверждения практической реализации механизмов тушения (рис. 1) выполнены экспериментальные исследования огнетушащей эффективности различных жидких систем на очагах пожара классов 2А и 13В, результаты которых приведены в табл. 1.

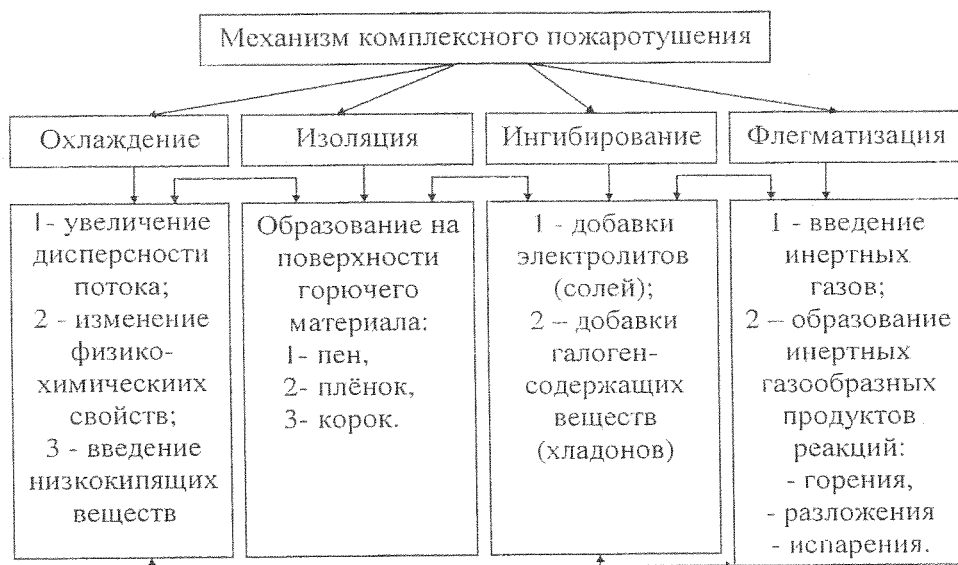


Рис. 1. Блок-схема комплексного действия механизмов повышения огнетушащей эффективности жидких систем

Таблица 1

Огнетушащая эффективность различных жидких систем  
на очагах пожара классов 2А и 13В

Состав огнетушащей жидкости	Огнетушащая эффективность* (2А), г/м <sup>2</sup>	Огнетушащая эффективность* (13В), г/м <sup>2</sup>
H <sub>2</sub> O без добавок	1292	55300** (тушение не происходит)
H <sub>2</sub> O + NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> (25%) истинный раствор	522	55300** (тушение не происходит)
Состав 1 (H <sub>2</sub> O + неионогенное ПАВ (1% масс.) + ВМС (0,1% масс.)) истинный раствор	878	55300** (тушение не происходит)
Состав 2 (состав 1 + NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> (5%)) истинный раствор	693	52500
Состав 3 (состав 2+CH <sub>3</sub> I (7% масс.)) эмульсия	366	18600

\* – интенсивность подачи огнетушащего вещества составляет 100 г/с;

\*\* – приведены данные количества раствора, затраченного на тушение за время полного выгорания 2 л бензина;

Обработка результатов экспериментов, представленных в табл.1, позволила установить влияние отдельных компонент пожаротушающих систем конечного вида [10] на отдельные составляющие общего механизма пожаротушения (в % по отношению к воде без добавок). Результаты этих расчётов сведены в табл. 2.

На основе результатов анализа характера изменений составляющих материального баланса (масс компонент пожаротушающих составов в связи с проявлением различных механизмов подавления очагов пожара) однозначно установлено, что в изученных системах тушения преобладают механизмы охлаждения (20-60%) и ингибирования (40-80%).

Таблица 2

Материальный баланс масс компонент пожаротушающих составов  
по различным механизмам подавления очагов пожара (%)

Состав	Механизм			
	Охлаждение	Изоляция	Ингибирование	Флегматизация
H <sub>2</sub> O + NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> (25%) истинный раствор	22,8 (2А) / - (13В)	~ 0 (2А)/- (13В)	77 (2А) / - (13В)	~ 0 (2А)/ - (13В)
H <sub>2</sub> O + неионогенное ПАВ (1% масс.) + ВМС (0,1% масс.) + NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> (5%)+CH <sub>3</sub> I (7% масс.) эмульсия	60,4 (2А)/ 16,6 (13В)	~ 0 (2А)/ ~ 0 (13В)	39 (2А) / 83,4 (13В)	~ 0 (2А)/ ~ 0 (13В)

Представленные в табл. 2 результаты требуют более глубокого анализа факторов, которые могут существенно (в соответствии с данными рис. 1) влиять на эффективность проявления различных механизмов пожаротушения, в частности, механизмов охлаждения и ингибирования. Результаты выполненных экспериментов однозначно свидетельствуют, что необходимо специальное исследование материального и теплового балансов систем пожаро-

тушения для обоснования возможности реализации механизмов изоляции и флегматизации, установить проявление которых на основе представленных в табл. 1 и 2 экспериментальных данных не представляется возможным. С учётом сказанного и на основе результатов собственных экспериментов нами выполнен комплексный анализ влияния различных факторов на эффективность проявления различных механизмов пожаротушения.

Анализ факторов различных механизмов пожаротушения (рис. 1) показывает, что увеличение дисперсности потока играет значительную роль в повышении эффективности тушения за счёт увеличения интенсивности отвода тепла. Но для увеличения интенсивности отвода тепла необходимо уменьшать плотность огнетушащей системы (изменяется в узком диапазоне) и размер капель в потоке. Задача увеличения дисперсности потока на сегодняшний день осуществляется с помощью технических средств. Однако в этом случае в практике пожаротушения сталкиваются с другими проблемами: нехваткой дорогостоящего оборудования для подачи жидкости под большим давлением; с существенным уменьшением дальности подачи диспергированных огнетушащих веществ; с выносом мелких капель мощными конвективными потоками на подлёте их к очагу горения. Для устранения этих недостатков предлагается использовать эмульсии пропеллентов (нерастворимых в воде углеводородов (УВ) или галогенуглеводородов (ГУВ) с низкой температурой кипения) в воде [10]. В этом случае дополнительное увеличение дисперсности потока жидкости происходит за счёт изменения физико-химических свойств, а именно – за счёт уменьшения поверхностного натяжения –  $\sigma$  (для этого используют добавки поверхностно-активных веществ (ПАВ)) и дополнительного дробления капель воды при испарении микрокапель пропеллента в высокотемпературном поле. Установлено, что поверхностное натяжение растворов существенно снижается уже при небольших концентрациях (1-2 % масс.) ПАВ. Дальнейшее увеличение концентрации ПАВ несколько увеличивает величину  $\sigma$  растворов, поэтому использование огнетушащих систем с добавками ПАВ более 2% масс. нецелесообразно. Для достижения эффекта разрыва капли эмульсии в зоне горения к веществам дисперсной фазы должны предъявляться следующие условия:

- температура кипения этих веществ должна быть значительно ниже температуры кипения воды, однако для более эффективного и быстрого разрыва капли эмульсии температура кипения пропеллентов не должна превышать 60 °С;
- пропелленты должны иметь низкую теплоту парообразования, чтобы при нагревании скорость испарения была достаточной для разрыва капли эмульсии в определённый период прохождения её сквозь зону горения;
- для образования эмульсии пропелленты должны быть нерастворимы или малорастворимы в воде;
- пропелленты не должны давать токсичных газообразных продуктов при испарении их микрокапель в воде.

Данным требованиям отвечает достаточно большой спектр органических жидкостей – УВ или ГУВ, однако для эффективного задействования таких систем в процессе тушения по механизму ингибирования, в качестве пропеллентов должны использоваться галогенсодержащие углеводороды. В этом случае особое внимание необходимо обратить на снижение уровня химической опасности используемых компонент – ГУВ для окружающей среды в зоне пожара, которая уже может иметь высокий уровень канцерогенных газообразных продуктов горения. В связи с этим в работе [10] предлагается использовать менее химически опасный йодистый метил.

На эффективность охлаждения существенное влияние оказывает увеличение времени ( $\tau$ ) контакта огнетушащего состава с охлаждаемой поверхностью, что приводит к более полному испарению жидкости. Этот фактор ( $\tau$ ) особенно важно учитывать в случае пожара на наклонных либо вертикальных поверхностях. Задержку жидкости на наклонных поверхностях обеспечивают путём увеличения её вязкости за счёт добавок высокомолекулярных соединений (ВМС). Для изменения (увеличения) вязкостных свойств огнетушащих жидкостей, как показывают наши данные, предпочтительно использовать натриевую соль карбоксиме-

тилцеллюлозы – Na-КМЦ. Растворы Na-КМЦ обладают наименьшей чувствительностью к повышению температуры, что является весьма позитивным фактором при использовании таких растворов при тушении пожаров. Дополнительно к сказанному – Na-КМЦ, имея органическую основу, после использования огнетушащего состава быстро разлагается до  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$  и поэтому не наносит вреда окружающей среде. Однако в случае использования ВМС необходимо учитывать, что неконтролируемое повышение вязкости огнетушащих растворов приводит к изменению гидродинамических свойств жидкости, что затрудняет подачу жидкости в зону горения. В связи с этим при разработке новых огнетушащих систем нельзя допускать увеличения вязкости выше некоторого критического значения, либо уже использовать составы, в которых образование вязкой системы осуществляется непосредственно в зоне горения. К таким системам можно отнести гелеобразующие составы [11].

Таким образом все факторы, повышающие охлаждающее действие жидких огнетушащих систем, включая и использование низкокипящих веществ, могут проявляться при использовании огнетушащих эмульсий. Такие системы также эффективно работают и по механизму ингибирования за счёт наличия в их составе электролитов (солей) и использования в качестве пропеллентов галогенсодержащих углеводородов. К сказанному необходимо добавить, что присутствие в эмульсиях некоторых электролитов может приводить к образованию на поверхности твёрдого горючего материала (ТГМ) изолирующей корки. Таким путём может реализоваться и поддерживаться механизм изоляции.

Механизм флегматизации присутствует во всех случаях использования огнетушащих систем на основе воды за счёт образования в очаге пожара водяного пара и других неактивных газообразных продуктов. Для повышения эффекта флегматизации предлагается введение в зону очага пожара – инертных газов ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}_{(г)}$ ,  $\text{N}_2$  и др.), или введение в состав огнетушащих жидкостей веществ, при разложении которых в большом объеме образуются инертные газы. Однако эти и другие представления о влиянии различных факторов дисперсных сред на механизмы пожаротушения требуют отдельного рассмотрения.

При тушении горючих жидкостей (ГЖ) основным механизмом прекращения горения является изоляция, за счёт нанесения на поверхность ГЖ пен. Механизм изоляции также является основным при оперативной ликвидации чрезвычайных ситуаций, связанных с разливом и возгоранием химически опасных веществ. В области пенообразования на сегодняшний день проведено большое количество научных и научно-практических работ. Однако все они направлены на образование пены в зоне подающего устройства. При этом часто сталкиваются с основной проблемой пенного тушения – очень малой дальностью подачи пены (за счёт её низкой плотности), которая часто значительно меньше минимально безопасной дальности нахождения личного состава и техники от очага горения. Эту проблему также можно решить, используя эмульсию пропеллента в пенообразующем растворе, в результате чего пенообразование уже происходит непосредственно в зоне горения – за счёт процесса вскипания пропеллента.

**Выводы.** На основе предшествующих и собственных экспериментальных данных структурированы факторы, влияющие на эффективность тушения пожара по основным механизмам прекращения горения. На основе результатов анализа предложенной схемы механизмов тушения и результатов исследования влияния компонент на огнетушащую эффективность показано, что все механизмы пожаротушения эффективно проявляются в одном составе эмульсии на основе воды, содержащем пропелленты, добавки ПАВ, ВМС и электролитов. Сформулированы условия повышения огнетушащей эффективности жидких дисперсных (коллоидных) систем для различных видов чрезвычайных ситуаций (тушения пожаров классов А и В).

#### Список литературы:

1. Антонов А.В. Теоретические и практические вопросы разработки и применения огнетушащих веществ в Украине / А.В. Антонов // Материалы XVI науч.-практ. конф. – М.: ВНИИПО МВД России. – 2001. – Ч. 2. С. 10-12.

2. **Тарахно О.В.** Фізико-хімічні основи використання води в пожежній справі: Навчальний посібник / О.В. Тарахно, А.Я. Шаршанов. – Харків, АПБУ, 2004. – 252 с.
3. Провести теоретичні і експериментальні дослідження процесів придушення полум'я вогнегасними речовинами і виявити шляхи підвищення їх ефективності: Звіт про НДР. – К.: УкрНДДПБ МВС України, 1995.
4. **Антонов А.В.** Вогнегасні речовини. Посібник / А.В. Антонов, В.О. Боровиков, В.П. Орел [та ін.]. – Київ: Пожінформтехніка, 2004. – 176 с.
5. **Кустов М.В.** Поведение эмульсий с легкокипящей дисперсной фазой в условиях высоких температур / М.В. Кустов, В.Д. Калугин // Проблемы надзвичайних ситуацій. - Харків: УЦЗУ, 2008. – Вип. 8. – С. 108-114.
6. **Кустов М.В.** Використання емульсій з легкокиплячих рідин у воді при ліквідації надзвичайних ситуацій / М.В. Кустов, В.Д. Калугін // Проблемы надзвичайних ситуацій. – Харків: УЦЗУ, 2007. – Вип. 5. – С. 126-131.
7. **Слепченко В.Ф.** Огнетушащий состав, вскипающий в очаге пожара / В.Ф. Слепченко, В.М. Жартовский // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация: Тезисы докладов II Междунар. науч.-практ. конф. – Минск, 2003. – С. 330-332.
8. Пат. 2209645 Российская Федерация, МПК А62D1/08, Огнегасящий состав. / Васильев В.А. – № 2001109703/12, заявл. 11.04.2001; опубл. 10.04.2003, Бюл. 11, 2003.
9. **Калугин В.Д.** Методика расчёта затрат огнетушащего материала по различным механизмам тушения / В.Д. Калугин, М.В. Кустов. – Харьков: НУГЗ України, 2010. – 11 с.
10. Пат. 87619 Украина, МПК А62 D1/08. Вогнегасна емульсія / Калугін В.Д., Кустод М.В., заявл. 25.02.2008; опубл. 27.07.2009, Бюл. 14, 2009.
11. Пат. 60882 Україна, МКІ 7А62С1/00. Спосіб гасіння пожежі та склад для його здійснення / Борисов П.Ф., Росоха В.О., Абрамов Ю.О., Кіреєв О.О., Бабенко О.В. (Україна). АПБУ. – № 2003032600. Заявл. 25.03.2003; опубл. 15.10.2003, бюл. № 10, 2003.

*В.В. Коврегін, канд. техн. наук<sup>1</sup>, В.Д. Калугін, д-р хім. наук, професор<sup>1</sup>  
 М.В. Кустов, канд. техн. наук<sup>1</sup>, О.В. Сидоренко, канд. техн. наук<sup>2</sup>  
 (Національний університет цивільного захисту України<sup>1</sup>  
 Харківський національний педагогічний університет ім. Г.С. Сковороди<sup>2</sup>)*

## **ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВОГНЕГАСНИХ СКЛАДІВ НА ОСНОВІ ВОДИ ЗА РАХУНОК ДОБАВОК РІЗНИХ РЕАГЕНТІВ**

Розглянуті засоби підвищення ефективності вогнегасних властивостей складів на основі води, що базуються на визначені внеску кожного компоненту емульсії в загальний механізм припинення процесу горіння. Встановлено, що внесок кожного з компоненту емульсії (електроліти, поверхневоактивні речовини, високомолекулярні сполуки, пропеленти), відповідають певному механізму пожежогасіння. На основі узагальнення результатів експериментальних даних висловлені уявлення о можливих шляхах вирішення фундаментальної проблеми пожежогасіння – підвищення вогнегасної здатності рідинних дисперсних систем.

**Ключові слова:** механізми гасіння, рідинні вогнегасні склади, ефективність складів.

*V.V. Kovregin, Candidate of Sciences (Engineering)*  
*V.D. Kalugin, Doctor of Sciences (Chemistry), Professor*  
*M.V. Kustov, Candidate of Sciences (Engineering)*  
*(National University of Civil Defence)*  
*O.V. Sidorenko, Candidate of Sciences (Engineering)*  
*(Kharkiv H.S. Skovoroda National Pedagogical University)*

## **INCREASE OF EFFICIENCY EXTINGUISHER STRUCTURES ON THE WATER BASIS AT THE EXPENSE OF VARIOUS REAGENTS ADDITIVES**

The article deals with ways of increase of extinguishing properties of structures' efficiency on the basis of the water which are based on definition of the contribution of each component of an emulsion in the general mechanism of suppression of burning process. It is established that the contribution of each components of emulsion (electrolytes, active surface substances, high-molecular connections, propellants), answers the certain mechanism of a fire extinguish. On the basis of generalisation of data experimental results representations about possible ways of the decision of a fundamental problem of a fire extinguish – increases extinguisher are stated ability of liquid disperse systems.

**Key words:** mechanisms of extinguishing, liquid extinguishing substances, structures' efficiency.

