

*М.В. Кустов, адъюнкт, УГЗУ,  
В.Д. Калугин, д-р. хим. наук, проф, УГЗУ*

## **ПОВЫШЕНИЕ ОГNETУШАЩЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСТИННЫХ РАСТВОРОВ С ПОМОЩЬЮ ДОБАВОК ЭЛЕКТРОЛИТОВ**

Экспериментально подобран электролит, добавка которого позволяет существенно повысить огнетушащую эффективность истинных растворов. На основе проведенного эксперимента определена оптимальная концентрация электролита в огнетушащем растворе. На основе данных литературного анализа и собственных экспериментальных результатов высказано представление о природе механизма процесса прекращения горения водными растворами электролитов.

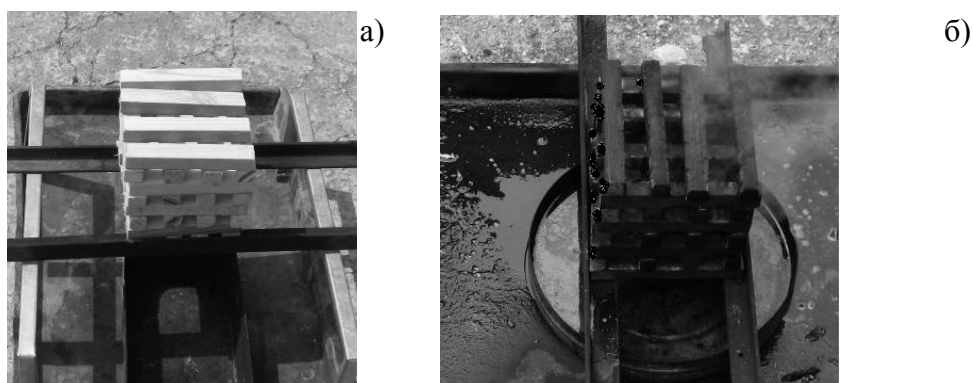
**Постановка проблемы.** На сегодняшний день наиболее используемым огнетушащим веществом является вода. Это обусловлено рядом причин: высокой теплоемкостью, высокой теплотой парообразования, широкой распространённостью в природе, простотой её использования и др. Однако, несмотря на ряд её положительных качеств, коэффициент фактического использования воды непосредственно на прекращение горения (огнетушащая эффективность) является очень низким (0,05-0,15), что влечёт за собой большое количество нежелательных последствий и приводит к высокому материальному ущербу как от пожаров, так и средств его тушения. Поэтому повышение огнетушащей эффективности воды с одновременным сокращением используемых объемов её - является актуальной задачей.

**Анализ последних достижений и публикаций.** Для повышения огнетушащей эффективности воды используют добавки поверхностно-активных веществ, которые снижают поверхностное натяжение огнетушащих растворов [1]. Также эффективно действуют добавки высокомолекулярных соединений, повышающие вязкость растворов [2]. Изменение физико-химических свойств растворов на границе с поверхностью горящего материала позволяет регулировать и существенно увеличить охлаждающее действие растворов. В предыдущих работах нами экспериментально установлена область значений вязкости и поверхностного натяжения растворов, при которых обеспечивается существенное повышение огнетушащей эффективности истинных растворов, а также построена математическая модель зависимости времени тушения от физико-химических свойств огнетушащих растворов [3-5]. Известно, что добавки солей в

огнетушащие растворы также повышают их эффективность [2], однако пока не изучено, как электролиты (соли) влияют на физико-химические свойства растворов, и связаны ли эффекты тушения с изменением поверхностно-активных свойств этих сред. Поэтому исследование взаимосвязи огнетушащих свойств растворов электролитов, а также смесей на основе солей, поверхностно-активных веществ (ПАВ) и высокомолекулярных соединений (ВМС) и поверхностно-активных и вязкостных свойств представляет большой научный и практический интерес.

**Постановка задачи и её решение.** Предшествующими исследованиями других авторов показано, что на сегодняшний день существует довольно широкий перечень различных электролитов (солей), повышающих огнетушащую эффективность растворов. Однако системный анализ зависимости эффективности огнетушащих свойств растворов с добавками солей от их физико-химических свойств (поверхностное натяжение –  $\sigma$ , вязкость –  $\eta$ ) отсутствует. Поэтому целью данной работы является установление влияния добавок различных солей на огнетушащую эффективность водных растворов (содержащих ПАВ + ВМС), установление характера изменения  $\sigma$  и  $\eta$  и выявление на основе анализа этих характеристик наиболее эффективного электролита для целей пожаротушения.

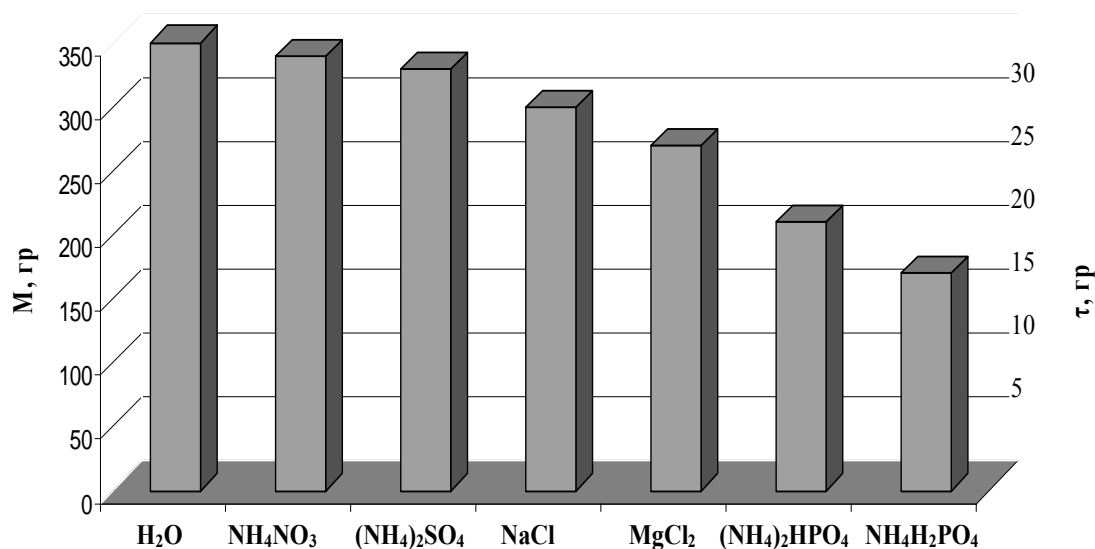
Для проведения системных экспериментальных исследований добавок электролитов нами выбран ряд наиболее часто используемых солей. Исследования проводили на модельном очаге пожара класса А (горение древесины) (рис. 1), в условиях, согласно требованиям ДСТУ 3675-98 [6].



**Рисунок 1 - Модельный очаг класса А до начала горения а) и после тушения б)**

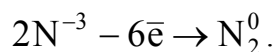
На первом этапе исследований проведен выбор наиболее эффективного электролита для тушения твёрдых горючих материалов. Для этого исследовали огнетушащую эффективность истинных растворов с одинаковыми массовыми концентрациями солей (рис. 2). За

огнетушашую эффективность согласно ГОСТ 12.1.004-91 «Пожарная безопасность. Общие требования» принят расход огнетушащего вещества на тушение модельного очага пожара (М) при постоянной интенсивности подачи – I ( $I \approx 10 \text{ гр/с}$ ), а также, как дополнительный критерий - время тушения ( $\tau$ ) модельного очага пожара.



**Рисунок 2 - Огнетушашая эффективность растворов различных электролитов концентрацией 5%мас.**

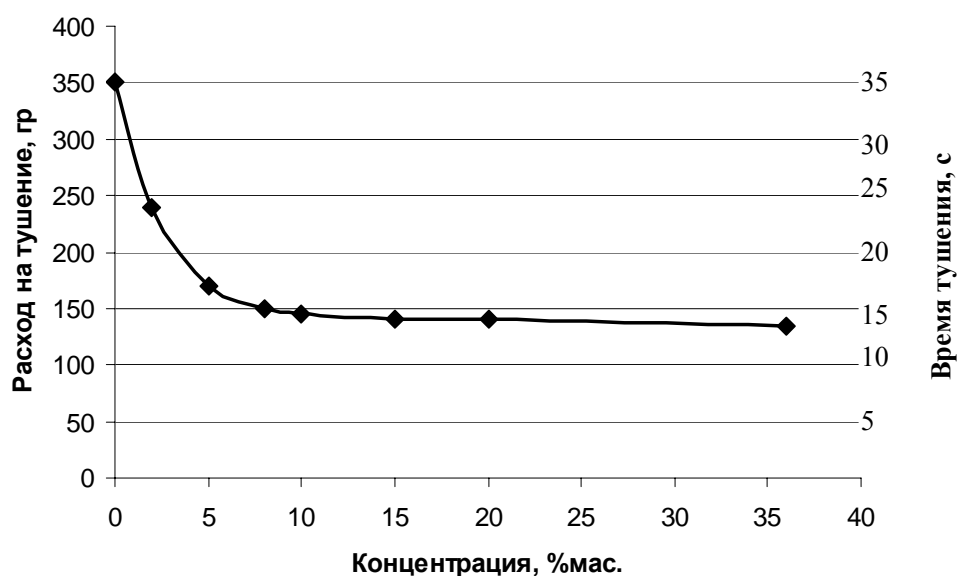
Из результатов эксперимента видно, что в представленном ряду солей можно говорить об эффектах увеличения смачивания (в результате уменьшения  $\sigma$  на границе раствор/целлюлоза) в ряду анионов  $\text{OH}^- < \text{NO}_3^- < \text{SO}_4^{2-} < \text{Cl}^- < \text{PO}_4^{3-}$ . Вторым возможным объяснением резкого снижения величин М и  $\tau$  в случае фосфатов может быть подавление каталитических центров пламени радикальными частицами фосфатов ( $\text{PO}_4^{3-\bullet}$ ), которые после взаимодействия с активными центрами пламени преобразуются в свободнорадикальные частицы следующего вида:  $\text{PO}\bullet$ ,  $\text{PH}\bullet$ ,  $\text{HPO}\bullet$ . Однако для рассмотрения эффектов среды в этом направлении (образование радикалов) представленных на рис. 2 экспериментальных материалов совершенно недостаточно. В этой связи также можно предположить, что свой вклад в повышение огнетушашей эффективности солей фосфата вносит флегматизирующее действие молекулярного азота, образованного в результате реакции окисления:



Низкая эффективность диаммонийфосфата ((NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>) по сравнению с дигидрофосфатом аммония (NH<sub>4</sub>H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>) (см. рис. 2) объ-

ясняется содержанием в  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$  большего количества анионов  $\text{PO}_4^{3-}$  (по сравнению с  $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ , при одинаковом массовом содержании этих солей), которые, как уже было отмечено выше, обладают большой поверхностной активностью и способны к подавлению активных центров пламени.

Вторым этапом исследований являлось установление оптимальной концентрации  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$  в растворе. Для этого провели эксперименты с растворами, содержащими различные концентрации солей (от 0% мас до насыщенного раствора (36% мас.)). Результаты исследований представлены на рис. 3.



**Рисунок 3 - Огнетушащая эффективность раствора  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$  различных концентраций**

Из рис. 3 видно, что огнетушащая эффективность раствора дигидрофосфата аммония растёт с увеличением концентрации до 5% мас., а затем остаётся на практически неизменном уровне. Из этих данных видно, что использование в пожаротушении насыщенных растворов  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$  оказывается нерациональным, т. к. при концентрации соли выше 5-6% мас. расход на тушение пожара уменьшается не существенно.

Для выяснения механизма тушения пожара растворами электролитов результаты данных экспериментов сопоставили с результатами диаграммы, полученными в работах [3, 4]. Путём наложения результатов на одну координатную ось получено графическое изображение рис. 4.

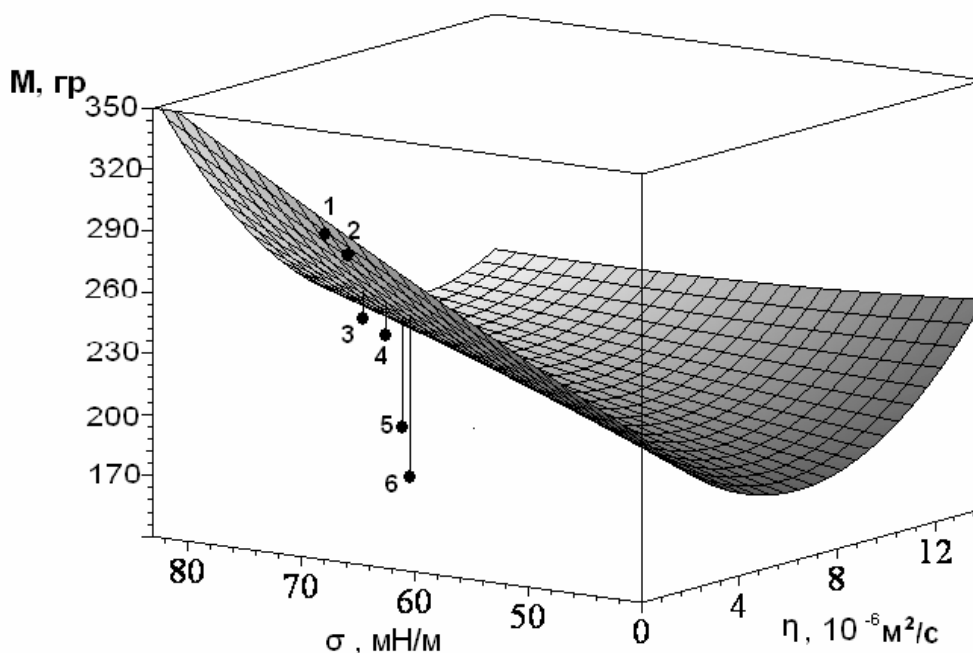


Рисунок 4 - Зависимость огнетушащей эффективности истинных растворов от их физико-химических свойств: 1 -  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ; 2 -  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ; 3 -  $\text{NaCl}$ ; 4 -  $\text{MgCl}_2$ ; 5 -  $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ ; 6 -  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ . Концентрация солей 5% мас.

Отклонение полученных результатов по расходу растворов электролитов от заданной поверхности исходной 3-х компонентной (вода + ПАВ + ВМС) растворной системы подтверждает предположение о том, что доминирующим фактором прекращения горения растворами электролитов не является охлаждение. Так, в работах [7, 8, 9] указано на ингибирующие свойства радикалов по активности воздействия на активные центры пламени ( $\text{H}^+$  и  $\text{OH}^+$ ) в следующем ряду ион-радикалов:  $\text{NO}_3^{\cdot-} < \text{SO}_4^{2-\cdot} < \text{Cl}^{\cdot} < \text{PO}_4^{3-\cdot}$ . С учётом сказанного авторами сделано предположение о природе процесса тушения очага горения растворами электролитов по механизму ингибирования активных центров пламени, который может даже доминировать над процессом теплопоглощения в процессе тушения твёрдых горючих материалов.

**Выводы.** На основе проведённого эксперимента установлено, что наибольшей огнетушащей эффективностью обладает раствор дигидрофосфата аммония ( $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ ). Экспериментально показано, что оптимальной концентрацией соли  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$  является 5-6% мас. На основе обобщённого анализа результатов исследований зависимости огнетушащей эффективности от физико-химических свойств истинных растворов сделано предположение об ингибировании активных центров пламени при горении целлюлозсодержащих материалов, которое оказывается доминирующим среди возможных

---

(обсуждённых в работе) механизмов тушения растворами электролитов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Казаков М.В. Применение поверхностно-активных веществ для тушения пожаров. М., Стройиздат, 1977. – 80 с.
2. Вогнегасні речовини. Посібник – Київ: Пожінформтехніка, 2004. – 176с.
3. Кустов М.В., Калугін В.Д. Встановлення зв'язку між часом пожежогасіння та фізико-хімічними властивостями вогнегасних речовин на основі води // Проблемы пожарной безопасности. – Х.: УГЗУ, 2007. – Вып.. 21. – С. 139-146.
4. Кустов М.В., Калугін В.Д. Вплив фізико-хімічних властивостей істинних розчинів на їх вогнегасну ефективність // Проблемы пожарной безопасности. – Х.: УГЗУ, 2007. – Вып.. 22. – С. 126-134.
5. Кустов М.В., Калугін В.Д. Дослідження ефективності використання істинних розчинів при ліквідації надзвичайних ситуацій // Проблеми надзвичайних ситуацій. – Х.: УЦЗУ, 2007. – Вып.. 6. – С. 88-94.
6. ДСТУ 3675-98. Пожежна техніка. Вогнегасники переносні. Загальні технічні вимоги та методи випробувань.
7. Азатян В.В. Кинетические аспекты химических способов предотвращения и тушения пожаров // ЖВХО. – М., 1985. - №1. – С. 4-12.
8. Twarowski A.J., Combustion. Flame, V.102, (1995) P.41-54.
9. Morey E., Knutsen L., Proc. Of the Halon Options Technical Working Conference, Albuquerque, 2003. NIST SP 984-2. CD version.  
nuczu.edu.ua

Статья поступила в редакцию 25.09.2008 г.