

**Т.В. Проценко, Г.К. Ивахнюк**

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России,  
Санкт-Петербург, Россия

## **Cu-СОДЕРЖАЩИЕ ОГНЕТУШАЩИЕ СОСТАВЫ ДЛЯ ТУШЕНИЯ ТЕХНОГЕННЫХ ПОЖАРОВ.**

***Аннотация.** Каскадное развитие пожаров на НПЗ создаёт риск перехода пламени к природным территориям. Эксперименты показали, что растворы  $\text{CuSO}_4$  повышают смачивание, охлаждение и ингибирование горения. Перспективным является применение ионов  $\text{Cu}^{++}$  в компрессионных пенах для эффективного подавления огня.*

**T. Protsenko, G. Ivakhnyuk**

St. Petersburg University of State Fire Service of EMERCOM of Russia,  
St. Petersburg, Russia

## **Cu-CONTAINING FIRE EXTINGUISHING COMPOUNDS FOR SUPPRESSING TECHNOGENIC FIRES**

***Abstract.** Cascade development of fires at oil refineries creates a risk of flame transfer to natural territories. Experiments showed that  $\text{CuSO}_4$  solutions enhance wetting, cooling, and combustion inhibition. The use of  $\text{Cu}^{++}$  ions in compression foams is considered promising for effective flame suppression.*

Проблема предотвращения и ликвидации пожаров на объектах топливно-энергетического комплекса остаётся одной из наиболее актуальных задач современной пожарной безопасности. Нефтеперерабатывающие заводы (НПЗ), являясь предприятиями непрерывного высокотемпературного цикла, характеризуются значительной пожаровзрывоопасностью вследствие обращения больших объёмов углеводородного сырья и эксплуатации оборудования под избыточным давлением. Любой отказ технологического блока или внешнее воздействие могут привести к быстрому развитию крупного пожара, способного перерасти в масштабную чрезвычайную ситуацию.

В этой связи целью настоящей работы является оценка возможности повышения эффективности тушения техногенно-природных пожаров путём использования медьсодержащих составов. Для достижения цели были поставлены задачи статистического анализа, экспериментального изучения механизмов действия  $\text{CuSO}_4$  и

оценки возможности их применения в комбинированных средствах тушения.

Для оценки современной пожарной обстановки проанализированы данные МЧС России и отраслевых аналитических центров за период 2020–2024 гг. Сводные показатели представлены в таблице 1. [1]

год	Всего пожаров	Пожары НПЗ	Лесные пожары
<b>2020</b>	439 394	15	н/д
<b>2021</b>	390 859	18	15 112
<b>2022</b>	352 602	12	12 528
<b>2023</b>	360 963	22	12 241
<b>2024</b>	347 506	27	9 373

Таблица. 1. Сводные данные о пожарах в России (2020-2024гг.)

Анализ данных показывает, что, несмотря на общее снижение количества пожаров, число техногенных возгораний на НПЗ постепенно растёт. Одновременно лесные и торфяные пожары остаются значимым фактором пожарной опасности, демонстрируя выраженную зависимость от климатических условий и антропогенной нагрузки. Такая комбинация факторов формирует условия для техногенно-природной каскадности, когда первичный пожар на НПЗ, обладающий высокой тепловой мощностью и сопровождающийся выбросами горючих аэрозолей, способен инициировать ландшафтные возгорания. Подобные случаи приведут к необходимости задействования расширенной группировки сил и существенно увеличивают длительность работ. [2], [3]

Полученные данные позволяют сформулировать ключевые проблемные области и определить направления дальнейшего поиска эффективных методов тушения каскадных пожаров.

Таким образом, выявленные особенности развития техногенно-природных пожаров требуют пересмотра подходов к выбору огнетушащих средств и повышают актуальность разработки универсальных составов, эффективных в сложных комбинированных условиях. Учитывая специфику таких ситуаций, возрастают требования к огнетушащим средствам, способным работать как при

техногенных, так и при природных пожарах. Одним из перспективных направлений является применение водных растворов сульфата меди ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ), которые обладают не только охлаждающим, но и выраженным физико-химическим и термохимическим воздействием на процессы горения.

Таким образом, выбранный подход сформировал основной путь решения задачи — исследование механизмов действия  $\text{CuSO}_4$  и оценка их применимости в условиях техногенно-природной каскадности.

Для оценки перспективности данного подхода была проведена серия лабораторных экспериментов с растворами сульфата меди. Экспериментальная часть работы показала, что введение ионов  $\text{Cu}^{++}$  в обычную техническую воду приводит к ряду эффектов, повышающих эффективность тушения природных пожаров. Ионы меди и сульфат-ионы снижают поверхностное натяжение воды и изменяют структуру водородных связей, увеличивая её смачивающую способность. Это обеспечивает более глубокое проникновение раствора в пористую структуру древесины и торфа, ускоряя охлаждение материала и затрудняя образование горючих газов пиролиза.

Указанные результаты определяют научную новизну работы, заключающуюся в подтверждённом комплексном физико-химическом воздействии  $\text{CuSO}_4$  на процессы горения.

Помимо изменения физико-химических свойств воды, растворы  $\text{CuSO}_4$  проявили и выраженный термохимический эффект. Установлено, что при температурных воздействиях, характерных для природных пожаров,  $\text{Cu}^{++}$ -ионы участвуют в реакциях термохимического разложения воды, сопровождающихся образованием водяного пара. Локальная паровая среда снижает концентрацию кислорода в зоне горения, что способствует замедлению реакции. Одновременно медь способна связывать активные радикалы ( $\text{OH}\cdot$ ,  $\text{H}\cdot$ ,  $\text{O}\cdot$ ), ответственные за цепное развитие пламени, обеспечивая химическое торможение горения. В результате на поверхности материала формируется тонкая минеральная плёнка, которая частично экранирует тепло и предотвращает повторное воспламенение. [4]

Полученные экспериментальные данные подтверждают совокупное действие указанных механизмов и демонстрируют практическую эффективность медьсодержащих растворов. Растворы готовились на технической воде, что подтверждает возможность их оперативного применения в полевых условиях, включая наземное и авиационное пожаротушение.

Данное обстоятельство свидетельствует о высокой практической значимости результатов и потенциале их внедрения в действующие технологии пожаротушения.

Отдельного внимания заслуживает возможность расширения применения  $\text{Cu}^{++}$ -ионов за пределы водных растворов. Особый интерес представляет гипотеза о применении ионов меди в газонаполненных компрессионных пенах. Комбинация физического экранирования, обеспечиваемого пенной структурой, и химического ингибирования горения за счёт ионов меди может сформировать двухуровневый механизм подавления пламени. Предварительная оценка показывает перспективность направления, однако требуется дальнейшее исследование устойчивости пенной структуры при высоких температурах, радикально-ингибирующих механизмов и оптимальных концентраций компонентов.

Это направление задаёт вектор для дальнейшей научной разработки и расширяет спектр перспективных композиционных огнетушащих систем.

В совокупности полученные данные формируют научную основу для разработки новых эффективных огнетушащих средств. Анализ статистики техногенных и природных пожаров, а также результаты лабораторных экспериментов подтверждают необходимость разработки составов, способных эффективно работать в условиях техногенно-природной каскадности. Водные растворы сульфата меди, приготовленные на технической воде, демонстрируют комплексное термохимическое и физико-химическое воздействие и являются перспективной основой для создания комбинированных огнетушащих составов нового поколения, применимых как на промышленных объектах, так и при тушении лесных и торфяных пожаров.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о перспективности  $\text{CuSO}_4$  как универсальной основы для огнетушащих композиций, а также основывают необходимость дальнейших исследований по его интеграции в пенные составы.

### **Список использованных источников**

1. Гончаренко В.С., Чечетина Т.А., Сибирко В.И., Надточий О.В., Матюшин Ю.А., Полехин П.В., Козлов А.А., Шевцов М.В. Пожары и пожарная безопасность в 2024 г. Статистика пожаров и их последствий// Информационно-аналитический сборник. Балашиха: ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2025. 112 с.

2. Приказ МЧС России от 16.10.2017 N 444 «Об утверждении Боевого устава подразделений пожарной охраны, определяющего порядок организации тушения пожаров и проведения аварийно-спасательных работ».

3. Методические рекомендации по действиям органов управления и сил функциональной и территориальной подсистем РСЧС, привлекаемых к тушению лесных, степных и торфяных пожаров и реагированию на чрезвычайные ситуации в паводковом периоде (утв. МЧС России 18.02.2016). - URL: <https://rulaws.ru/acts/Metodicheskie-rekomendatsii-po-deystviyam-organov-upravleniya-i-sil-funktsionalnoy-i-territorialnoy-pod/> (дата обращения 19.03.2024).

4. Rayaroth, M.P.; Boczkaj, G.; Aubry, O.; Aravind, U.K.; Aravindakumar, C.T. Advanced Oxidation Processes for Degradation of Water Pollutants—Ambivalent Impact of Carbonate Species: A Review. *Water* 2023, 15, 1615. <https://doi.org/10.3390/w15081615>.

5. Проценко Т.В. Моделирование потребности в силах и средствах для повышения эффективности тушения и снижения ущерба от масштабных пожаров. Уфа.: Технологические инновации и научные открытия / Сборник трудов по материалам XXIII Международного конкурса научно-исследовательских работ, 2025. с. 20–24.

УДК 665.5.06+674.87

**А.А. Рогач, С.А. Ламоткин**

Белорусский государственный технологический университет  
Минск, Республика Беларусь

## **КОМПЛЕКСНАЯ ПЕРЕРАБОТКА БИОМАССЫ ХВОЙНЫХ РАСТЕНИЙ**

***Аннотация.** В статье проводится критический анализ и сравнительная оценка эффективности современных методов экстракции с целью оптимизации извлечения целевых метаболитов. Полученные результаты обосновывают перспективы внедрения разработанных технологий для создания конкурентоспособной продукции, способствующей реализации стратегии импортозамещения в различных отраслях.*

**A.A. Rogach, S.A. Lamotkin**

Belarusian State Technological University  
Minsk, Republic of Belarus

## **COMPREHENSIVE PROCESSING OF CONIFER BIOMASS**