

ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ И ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ

Аналитическая статья

УДК 608.2; DOI: 10.61260/2304-0130-2026-2-20-27

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ РАЗРУШЕНИЯ ГАЗОНАПОЛНЕННОЙ ПЕНЫ НА ОСНОВЕ ПОРОШКА СФ-2У ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

✉ Мещеряков Илья Вячеславович;

Константинова Алина Станиславовна.

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

✉ ilya.mesch@mail.ru

Аннотация. Представленная статья посвящена экспериментальному исследованию параметров термической деструкции огнетушащих пен в условиях, моделирующих тепловое воздействие развивающегося пожара. Основной целью работы является сравнительная оценка термостойкости огнетушащих пен, полученных на базе синтетического углеводородного пенообразователя ПО-3 и специализированного дегазирующего состава СФ-2у [1], при варьировании физико-химической природы дисперсной фазы (атмосферный воздух или инертная смесь на основе отработанных газов двигателя внутреннего сгорания). Физическое моделирование процессов разрушения структурного каркаса пены проводилось в диапазоне температур от 200 до 800 °С с фиксацией времени полного распада и расчетом кинетических характеристик (скорости синерезиса). В ходе анализа экспериментальных данных установлено, что рост тепловой нагрузки закономерно интенсифицирует деструкцию всех типов пен, однако природа газа-носителя оказывает нелинейное влияние на стабильность поверхностно-активных композиций.

По итогам исследования обоснована тактическая целесообразность дифференцированного подхода к выбору огнетушащих веществ: использование CO₂ совместно с пенообразователями общего назначения эффективно при тушении закрытых объемов со средними тепловыми потоками, в то время как ликвидация высокотемпературных очагов (свыше 500–800 °С) требует применения термостойких составов класса СФ-2у исключительно с классической воздушной аспирацией. Практическая значимость работы заключается в возможности оптимизации параметров работы установок газодляного тушения с учетом термодинамических характеристик защищаемых объектов.

Ключевые слова: сульфонол, СФ-2У, разрушение пены, газонаполненная пена, температура окружающей среды.

Для цитирования: Мещеряков И.В., Константинова А.С. Исследование зависимости разрушения газонаполненной пены на основе порошка СФ-2У от температуры окружающей среды // Надзорная деятельность и судебная экспертиза в системе безопасности. 2026. № 2. С. 20–27. DOI: 10.61260/2304-0130-2026-2-20-27

Введение

Ежегодно на территории Российской Федерации регистрируется значительное количество пожаров, сопровождающихся материальным ущербом, негативным воздействием на окружающую среду и гибелью людей. Анализ многолетней статистики свидетельствует о наличии устойчивой тенденции к снижению абсолютного числа пожаров.

Для закрепления данной положительной динамики требуется принятие дальнейших мер, направленных на минимизацию социального, экологического и экономического ущерба от пожаров. В связи с этим особое значение приобретает поиск способов повышения эффективности уже имеющихся на вооружении средств. Актуальным направлением является модификация существующих огнетушащих составов, таких как дегазирующий раствор СФ-2У [3-10], состоящий на оснащении подразделений ГО МЧС России. Перспективной инновацией представляется использование CO_2 в качестве дисперсной фазы для получения пены [11, 12], что позволяет расширить тактические возможности применения штатных пенообразователей без привлечения дополнительных ресурсов.

Аналитическая часть

Для проведения физического моделирования теплового воздействия образцы сгенерированной пены помещали в цилиндрическую сетку высотой 210 мм и диаметром 100 мм. Сетка размещалась в рабочей камере муфельной печи, обеспечивающей равномерное радиационно-конвективное термическое воздействие. В качестве основного критерия оценки огнетушащей эффективности фиксировали время критического синерезиса и полного разрушения структуры пены [2]. В ходе серии испытаний анализировали четыре типа пен:

- пенообразователь общего назначения ПО-3 + воздушная дисперсная фаза;
- пенообразователь общего назначения ПО-3 + дисперсная фаза из CO_2 ;
- дегазирующий состав СФ-2у + воздушная дисперсная фаза;
- дегазирующий состав СФ-2у + дисперсная фаза из CO_2 .

Результаты измерения времени деструкции фиксировали для различных температурных режимов с шагом в 100 °С. Для сопоставления параметров процесса деструкции рассчитывалась приведенная скорость разрушения пенного слоя.

Анализ полученных данных подтверждает закономерность: экспоненциальный рост температуры окружающей среды инициирует интенсификацию процессов испарения жидкости из пленок, что неизбежно ведет к сокращению времени жизни огнетушащей пены. Наиболее критическое падение термостойкости регистрируется в зоне высоких температур, характерных для стадии объемного развития пожара. В частности, воздушно-механическая пена на основе раствора ПО-3 при тепловом воздействии в 200 °С сохраняет структурную целостность на протяжении 140 с, однако при достижении 800 °С данный показатель критически снижается до 20 с. Графики выявленных закономерностей представлены на рис. 1–8.

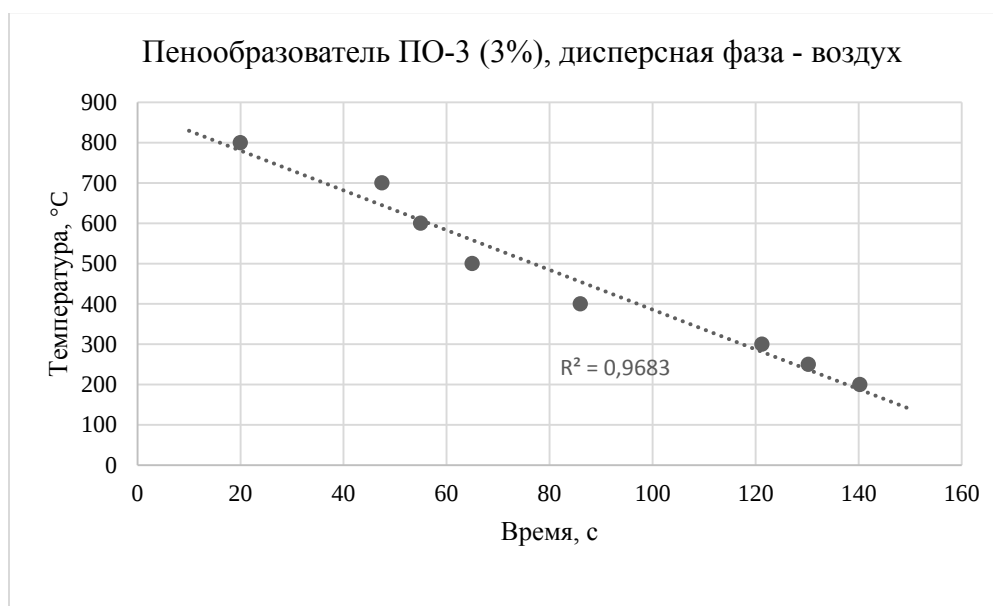


Рис. 1. Зависимость устойчивости пены от температуры окружающей среды (пенообразователь ПО-3 (3%), дисперсная фаза – воздух)

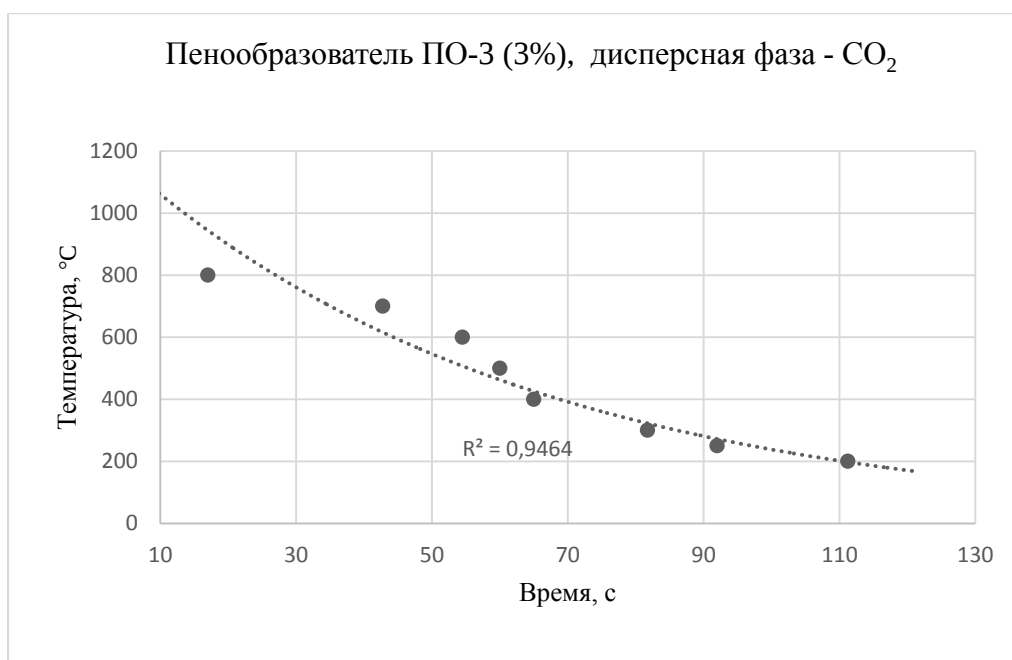


Рис. 2. Зависимость устойчивости пены от температуры окружающей среды (пенообразователь ПО-3 (3%), дисперсная фаза - CO₂)

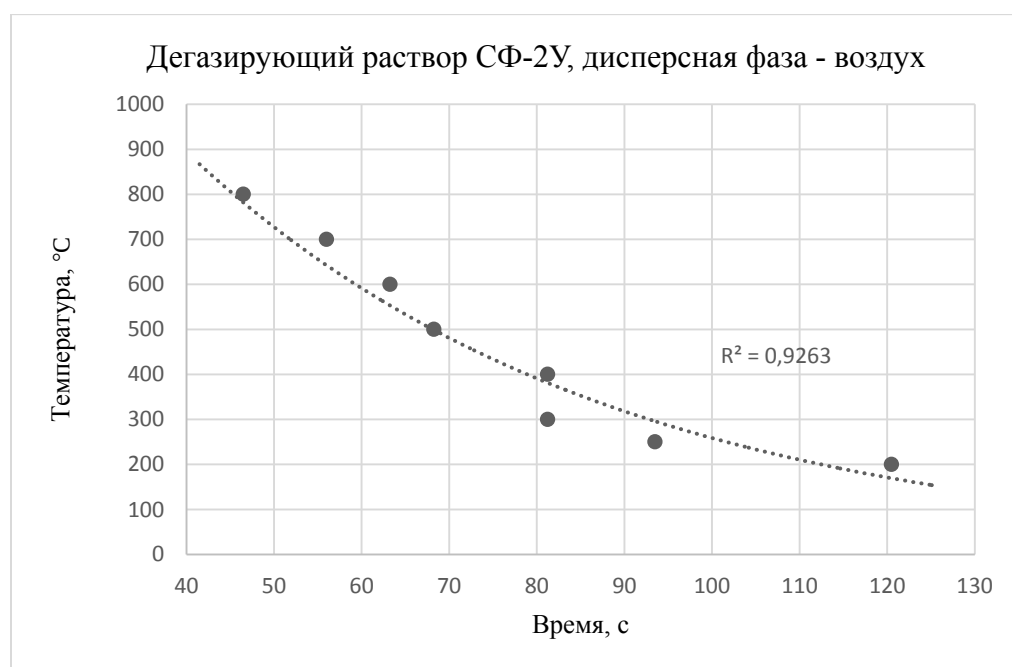


Рис. 3. Зависимость устойчивости пены от температуры окружающей среды (дегазирующий раствор СФ-2У, дисперсная фаза – воздух)

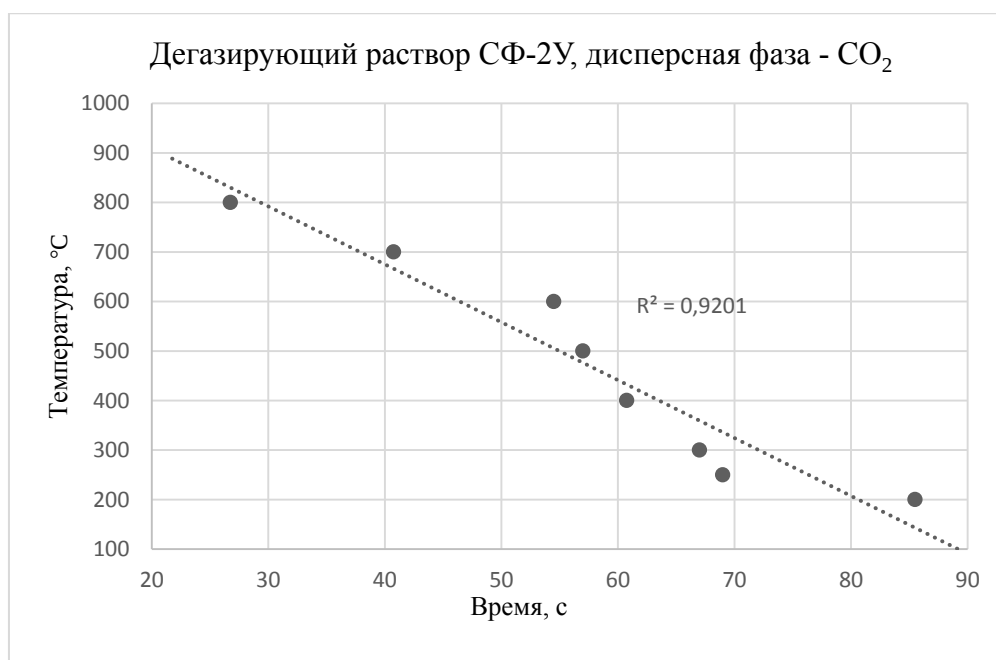


Рис. 4. Зависимость устойчивости пены от температуры окружающей среды
(дегазирующий раствор СФ-2У, дисперсная фаза - CO_2)

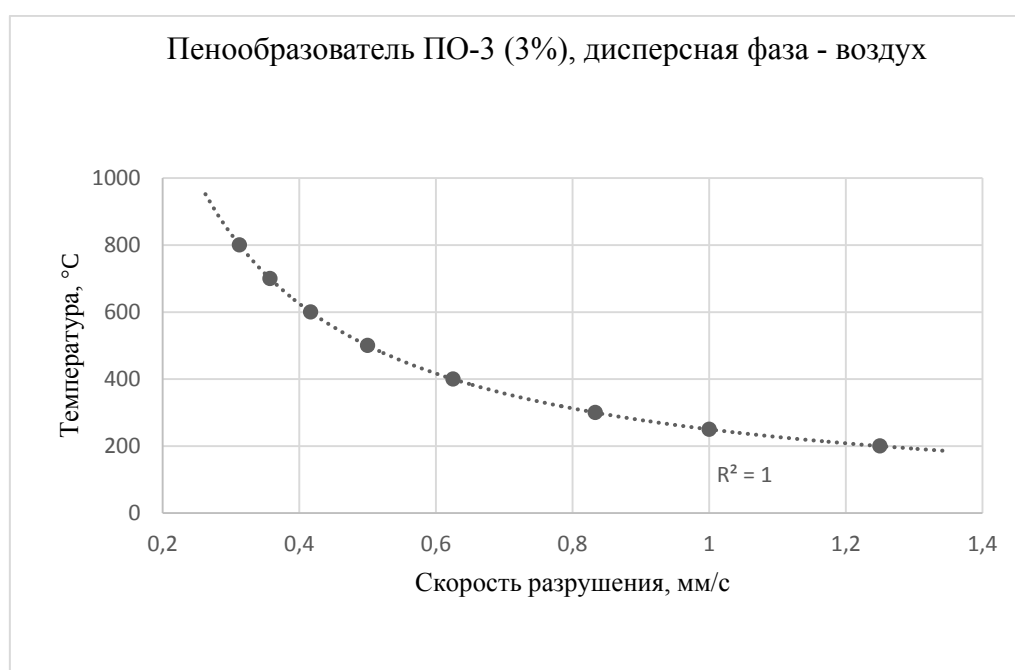


Рис. 5. Скорость разрушения пены
(пенообразователь ПО-3 (3%), дисперсная фаза – воздух)

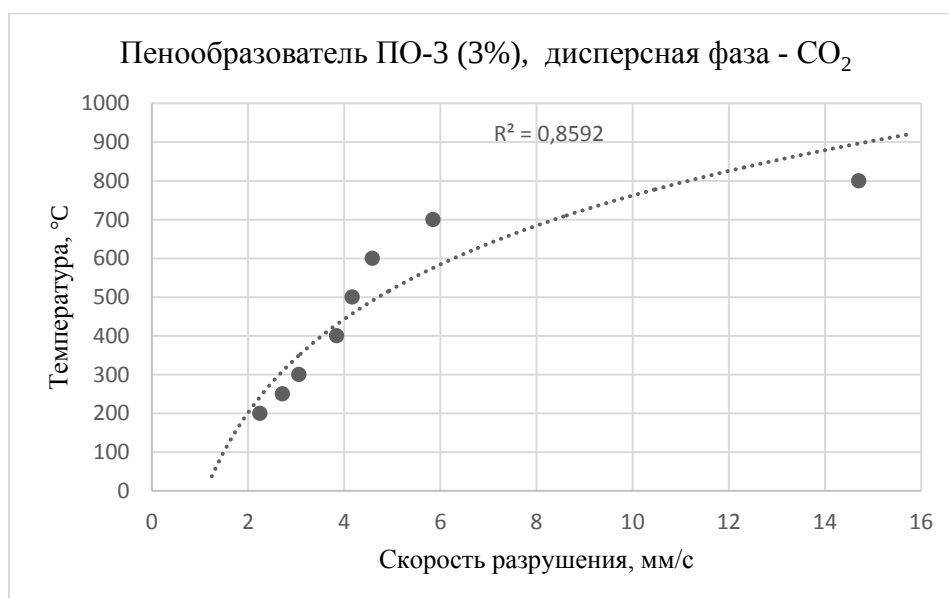


Рис. 6. Скорость разрушения пены
(пенообразователь ПО-3 (3%), дисперсная фаза – CO₂)

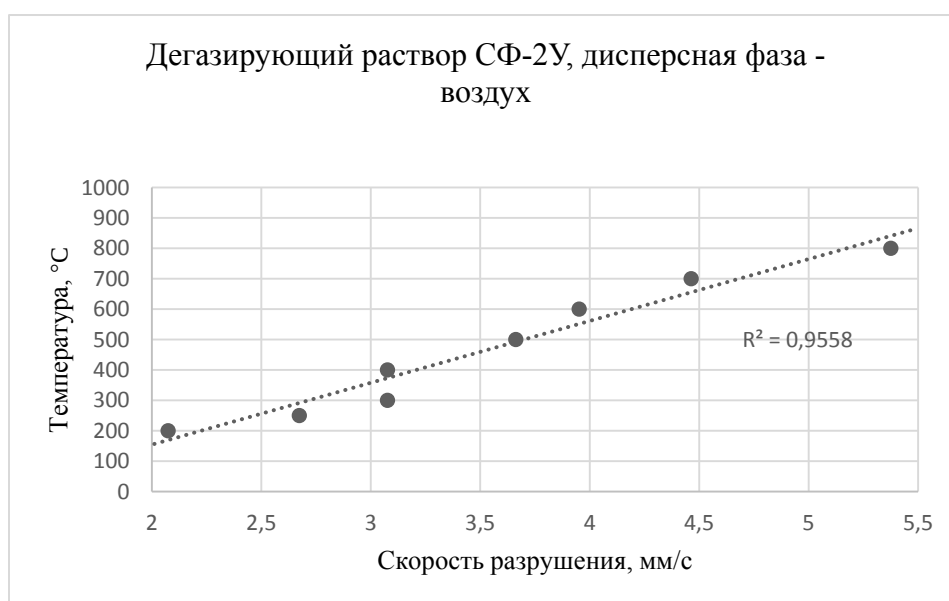


Рис. 7. Скорость разрушения пены
(дегазирующий раствор СФ-2У, дисперсная фаза – воздух)

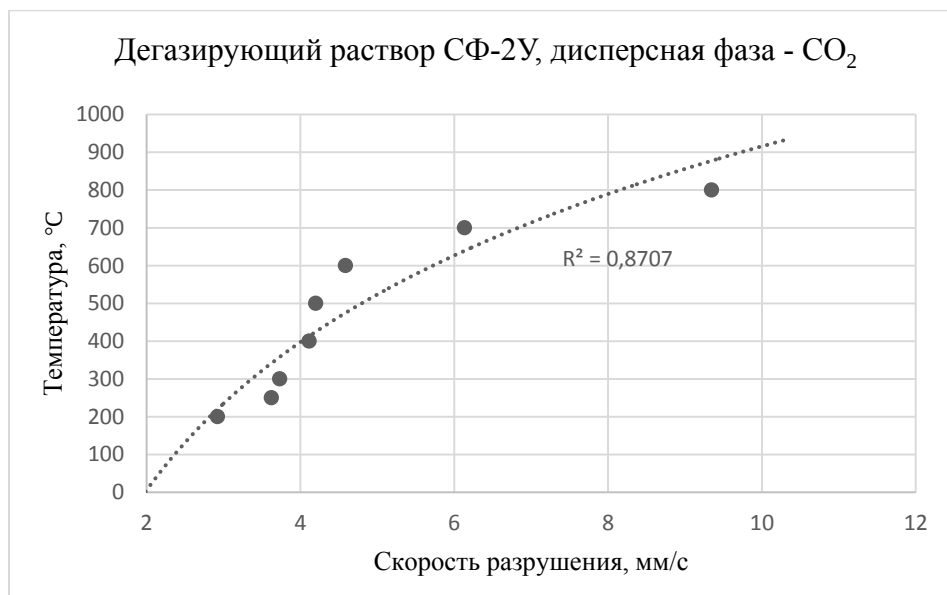


Рис. 8. Скорость разрушения пены (дегазирующий раствор СФ-2У, дисперсная фаза - CO₂)

Сравнительный анализ влияния химической природы газовой фазы выявил существенную разницу в механизмах реагирования различных типов пенообразователей на введение инертных компонентов (CO₂). Для углеводородного пенообразователя ПО-3 замещение кислорода воздуха CO₂ вызывает снижение устойчивости при умеренном нагреве от 200 до 300 °С. При достижении экстремальных температур в 700–800 °С структурные различия нивелируются, так как доминирующим фактором становится физическое вскипание водной основы.

Иная картина возникает при использовании состава СФ-2у. Во всем температурном диапазоне пена с заполнением атмосферным воздухом обеспечивает большую устойчивость. Существует вероятность того, что введение CO₂ в раствор СФ-2у приводит к химической несовместимости компонентов газовой смеси с функциональными присадками состава, что вызывает преждевременный синерезис. Наиболее критичен этот эффект при температуре порядка 800 °С, где пена с воздушной дисперсной фазой выдерживает тепловую нагрузку в течение 40 с против 26...27 с для пены на основе CO₂.

При тактическом планировании следует учитывать исследованные эффекты – несмотря на высокую огнетушащую способность, пена с дисперсной фазой, отличной от атмосферного воздуха, теряет в устойчивости к высоким температурам. Таким образом, применение модифицированной пены оправдано в случае оперативного тушения очага на ранней стадии развития. При тушении пожаров объемным способом следует учитывать, что такая пена подвержена более быстрому разрушению, чем стандартная.

Заключение

Результаты работы открывают перспективы для модернизации тактики тушения пожаров в замкнутых объемах (кабельные тоннели, трюмы судов, подвальные помещения) с применением установок температурно-газоводяного тушения и автомобилей газоводяного тушения (АГВТ).

Экспериментально доказано, что использование CO₂ для получения пены на основе стандартных синтетических углеводородных пенообразователей (типа ПО-3) является тактически целесообразным решением при тушении очага пожара на ранней стадии.

При тушении высокотемпературных технологических пожаров (например, на объектах нефтегазового комплекса или в зонах химического заражения), сопровождающихся

температурными режимами свыше 500–800 °С, наиболее рациональным является применение специализированного состава СФ-2у с использованием атмосферного воздуха.

Таким образом, выбор типа пенообразователя и дисперсной фазы должен коррелировать с прогнозируемой термической нагрузкой и классом пожарной опасности защищаемого объекта.

Список источников

1. Пучков В.А. Гражданская оборона. МЧС России. М.: 2014. 499 с.
2. ГОСТ Р 8.736-2011 Государственная система обеспечения единства измерений. Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
3. Мещеряков И.В., Алексеик Е.Б., Савельев Д.В. Теоретическая оценка огнетушащего потенциала типовых дегазирующих растворов (сообщение № 1) // Пожарная безопасность: современные вызовы. Проблемы и пути решения: сб. материалов Междунар. науч.-практ. конф. Санкт-Петербург: С.-Петерб. ун-т ГПС МЧС России. 2023. С. 287–290.
4. Мещеряков И.В., Булатов Н.Н. Теоретическая оценка огнетушащего потенциала типовых дезинфицирующих растворов (сообщение №2) // Междунар. науч. семинар-конф. «Пожарная безопасность в условиях современности». 2023. С. 81–83.
5. Мещеряков И.В., Алексеик Е.Б. Теоретическая оценка огнетушащего потенциала типовых Дезактивирующих растворов (сообщение №3) // XVIII Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых «Обеспечение безопасности жизнедеятельности: проблемы и перспективы», 2023. С. 122–123.
6. Мещеряков И.В., Константинова А.С., Емелина В.А. Экспериментальное исследование воздействия растворов средств дегазации и дезактивации, применяемых подразделениями ГО МЧС России, на материалы пожарных рукавов // Академия гражданской защиты имени Малика Габдуллина МЧС Республики Казахстан. 2024. С. 29–31.
7. Мещеряков И.В., Алексеик Е.Б. Оценка пожарно-технических характеристик штатных средств гражданской обороны МЧС России // Проблемы управления рисками в техносфере. 2025. №. 1. С. 202–213.
8. Мещеряков И.В., Алексеик Е.Б. Практическая оценка огнетушащего потенциала типовых дезактивирующих, дегазирующих и дезактивирующих растворов на примере экспериментального очага пожара класса В // Актуальные вопросы совершенствования инженерных систем обеспечения пожарной безопасности объектов: сб. материалов XI всеросс. науч.-практ. конф., Иваново, 2024. Ивановская пожарно-спасательная академия Государственной противопожарной службы МЧС РФ. 2024. С. 232–234.
9. Мещеряков И.В., Алексеик Е.Б. Практическая оценка огнетушащего потенциала типовых дезинфицирующих, дегазирующих и дезактивирующих растворов на примере экспериментального очага пожара класса А // Естественные науки и пожаробезопасность: проблемы и перспективы исследований: сб. материалов всеросс. науч.-практ. конф. с Междунар. участием, Иваново, 2024. Ивановская пожарно-спасательная академия Государственной противопожарной службы МЧС РФ. 2024. С. 196–198.
10. Мещеряков И.В., Константинова А.С. Сравнительная оценка огнетушащей способности средств дегазации и дезактивации // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2025. № 1(36). С. 166–174. DOI:10.34987/vestnik.sibpsa.2025.88.70.016.
11. Мещеряков И.В. Повышение огнетушащей эффективности штатных средств подразделений гражданской обороны МЧС России при тушении пожаров класса в модифицированной (газозаполненной) пеной // Современные проблемы гражданской защиты. 2025. № 1(54). С. 64–70.
12. Система генерации компрессионной пены, содержащей отработанные выхлопные газы: пат. 2835235 Рос. Федерация / Б.В. Гавкалюк [и др.]; заявитель и патентообладатель Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России – № 2835256; заявл. 13.05.2024; опубли. 24.02.2025.

Информация о статье: статья поступила в редакцию: 25.05.2026; принята к публикации: 01.06.2026

Информация об авторах:

Мещеряков Илья Вячеславович, преподаватель кафедры надзорной деятельности Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: ilya.mesch@mail.ru, SPIN-код: 5156-1928

Константинова Алина Станиславовна, преподаватель кафедры физико-технических основ обеспечения пожарной безопасности Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат технических наук, e-mail: as_konstantinova@mail.ru, SPIN-код: 5156-1928