

Научная статья

УДК 614.844.6; DOI: 10.61260/1998-8990-2026-1-154-163

ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОЙ ВОЗМОЖНОСТИ И ПАРАМЕТРОВ ПРИМЕНЕНИЯ ПИРОПАТРОНОВ ДЛЯ РАСПЫЛЕНИЯ БИНАРНЫХ СМЕСЕЙ ДЛЯ НУЖД ПОЖАРОТУШЕНИЯ

Сорокин Игорь Александрович;

Булатов Вячеслав Олегович;

✉ **Руднев Евгений Владимирович.**

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

✉ 53rudnev@mail.ru

Аннотация. Обосновывается возможность использования пиротехнических патронов в качестве активатора для систем пожаротушения на основе бинарных смесей «вода-фторкетон». Проведен предварительный теоретический расчет массы пиросоостава, необходимой для создания рабочего давления в баллоне объемом 1 л. Приведены конкретные примеры пиропатронов, схемы и критический анализ преимуществ и недостатков данного метода в сравнении с традиционным нагревом с помощью трубчатого электронагревателя. Указаны риски и нормативно-правовые ограничения применения пиропатронов, а также обосновывается техническая возможность использования пиротехнических средств в качестве активатора для систем пожаротушения на основе бинарных смесей «вода-фторкетон».

Ключевые слова: пиропатрон, бинарные смеси, пожаротушение, фторкетон, активация, расчет, пожарная безопасность

Для цитирования: Сорокин И.А., Булатов В.О., Руднев Е.В. Обоснование технической возможности и параметров применения пиропатронов для распыления бинарных смесей для нужд пожаротушения // Проблемы управления рисками в техносфере. 2026. № 1 (77). С. 154–163. DOI: 10.61260/1998-8990-2026-1-154-163

Scientific article

JUSTIFICATION OF THE TECHNICAL POSSIBILITY AND PARAMETERS OF PYROPATRONS APPLICATION FOR SPRAYING BINARY MIXTURES FOR FIRE EXTINGUISHING NEEDS

Sorokin Igor A.;

Bulatov Vyacheslav O.;

✉ **Rudnev Evgeny V.**

Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia

✉ 53rudnev@mail.ru

Abstract. The article substantiates the possibility of using pyrotechnic cartridges as an activator for fire extinguishing systems based on binary mixtures of «water-fluoroketone». A preliminary theoretical calculation of the mass of the pyrochemical composition required to create a working pressure in a 1-liter cylinder has been performed. Specific examples of pyrotechnic cartridges, diagrams, and a critical analysis of the advantages and disadvantages of this method in comparison with traditional heating using a tubular electric heater have been provided. The article describes the risks and regulatory restrictions associated with the use of pyrotechnic cartridges, and provides a technical justification

© Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2026

for using pyrotechnic devices as an activator for fire extinguishing systems based on binary water-fluoroketone mixtures.

Keywords: pyropatron, binary mixtures, fire extinguishing, fluoroketone, activation, calculation, fire safety

For citation: Sorokin I.A., Bulatov V.O., Rudnev E.V. Justification of the technical possibility and parameters of pyropatrons application for spraying binary mixtures for fire extinguishing needs // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2026. № 1 (77). P. 154–163. DOI: 10.61260/1998-8990-2026-1-154-163

Введение

Развитие технологий пожаротушения движется по пути повышения эффективности, быстродействия и безопасности для защищаемого объекта. Наряду с традиционными водяными, газовыми и порошковыми системами, все большее внимание уделяется комбинированным решениям. Бинарные системы могут быть различными. В данной статье будет рассмотрена бинарная система, сочетающая воду и фторкетон [1]. Такая система позволяет реализовать синергетический эффект от различных механизмов прекращения горения (охлаждения и ингибирования реакции горения). Ключевым аспектом для таких систем остается быстрая и надежная активация – перевод жидкой смеси в дисперсное состояние для подачи в очаг пожара [2].

Методы исследования

Бинарные смеси (от лат. *binarius* – двойной) – это составы, состоящие из двух различных компонентов, которые хранятся отдельно и смешиваются непосредственно перед применением. В контексте пожаротушения это чаще всего комбинация двух огнетушащих веществ (ОВ), которые при смешивании усиливают эффект друг друга, тем самым получая синергетический эффект.

Наиболее экономически эффективными являются гелеобразующие системы для лесного пожаротушения, где экономия воды достигает 90–95 % по сравнению с традиционным распылением. Аэрозольно-азотные смеси, несмотря на более высокую стоимость оборудования, экономически оправданы для защиты особо ценных объектов, где недопустим вторичный ущерб от традиционных средств. В табл. 1 представлены основные типы бинарных систем.

Таблица 1

Основные типы бинарных систем

№ п/п	Тип системы	Компоненты	Механизм действия
1	Гелеобразующие составы (ГОС)	Раствор силиката натрия + раствор кислоты/соли	Образование геля, изолирующего поверхность
2	Пенообразующие системы (ПОС)	Вода + пенообразователь (внешнее смешение)	Изоляция и охлаждение
3	Аэрозольно-азотные смеси	Аэрозоль солей калия + азот	Ингибирование + флегматизация
4	Бинарные слои пористых материалов	Вспученный перлит/вермикулит + порошки кристаллогидратов	Теплоизоляция + эндотермический эффект

Важно подчеркнуть фундаментальное отличие бинарных систем от традиционных средств пожаротушения. В бинарных системах огнетушащее вещество не существует в готовом виде – оно формируется непосредственно в процессе тушения. Это позволяет реализовать синергетический эффект, при котором эффективность комбинации превышает простую сумму эффективностей отдельных компонентов в зависимости от типа системы.

Синергия в бинарных системах достигается за счёт трёх основных механизмов: химического взаимодействия компонентов с образованием новых веществ, физического взаимодополнения различных механизмов тушения и каскадного воздействия на очаг пожара, когда каждый последующий фактор усиливает действие предыдущего [3–5].

В качестве примера рассмотрим такую бинарную систему как сочетание воды + фторкетона. Одним из реально используемых составов является Novoc1230:

– вода – самый дешевый, доступный агент, эффективно реализующий такой механизм прекращения горения, как охлаждение очага пожара.

– фторкетон – дорогая и эффективная жидкость с низкой температурой кипения, такая легкоиспаряющаяся жидкость реализует другой механизм прекращения горения – ингибирование реакции горения.

Эффективность бинарных систем обусловлена явлением синергизма, при котором совокупное воздействие компонентов превосходит сумму их отдельных эффектов [6].

Интеграция воды в такую бинарную систему позволяет существенно сократить объем дорогостоящего газового огнетушащего вещества (ГОТВ) в рецептуре, сохраняя при этом высокие показатели огнетушащей способности. Это приводит к снижению эксплуатационных расходов, связанных с перезаправкой и обслуживанием дорогостоящего фторкетона.

Не менее важно что, бинарная система может предусматривать реализацию различных сценариев работы. Режим объемного тушения предполагает подачу состава с высокой концентрацией ингибитора для ликвидации развитого пламенного горения. Режим предотвращения распространения использует пониженную концентрацию ГОТВ для создания в смежных помещениях огнетушащей среды, безопасной для людей при эвакуации.

При втором режиме работы (предотвращения распространения) происходит повышение уровня безопасности при эвакуации. Снижение объемной доли химического агента в воздушной среде минимизирует его физиологическое воздействие на организм человека в ходе эвакуации до безопасного уровня.

Важно, что бинарная система дает своего рода универсальность при воздействии на реакцию горения и отлично подходит для тушения пожаров классов А, В, С, Е.

Бинарные системы демонстрируют максимальную эффективность при защите объектов с повышенными требованиями к сохранности материальных ценностей и бесперебойности функционирования оборудования. Такие системы отлично подойдут в качестве системы тушения пожара на следующих объектах:

– центрах обработки данных и серверных помещений. Некоррозионная активность и диэлектрические свойства тумана обеспечивают сохранность критически важного электронного оборудования;

– объектах культурного наследия и архивах. Отсутствие разрушающего воздействия на бумажные носители, произведения искусства и чувствительные к влаге материалы;

– общественных и многофункциональных комплексах. Возможность организации поэтапной эвакуации и селективной защиты путей эвакуации за счет регулируемой концентрации ОТВ;

– промышленных предприятиях. Универсальность тушения гомогенных и гетерогенных пожаров, включающих горение твердых материалов (класс А), гомогенных легковоспламеняющихся жидкостей (класс В) и электроустановок под напряжением (класс Е) [7–10].

Основным фактором, лимитирующим широкое распространение бинарных смесей, является повышенная сложность системы. Наличие дополнительных элементов (емкостей, дозаторов, смесительных узлов) повышает требования к качеству проектирования, монтажа и технического обслуживания, а также увеличивает количество потенциальных точек отказа.

Кроме того, нормативно-правовая база, регламентирующая применение бинарных систем, находится в стадии формирования. Внедрение таких решений может потребовать разработки альтернативных способов подтверждения соответствия. Например, специальных технических условий (СТУ) и проведения дополнительных испытаний для получения разрешительной документации от надзорных органов.

Несмотря на указанные сложности, совокупность технических и экономических преимуществ бинарных систем определяет их высокий потенциал для интеграции в комплексные системы противопожарной защиты ответственных объектов [10–11].

Существует несколько типов бинарных систем, которые могут использоваться в пожаротушении.

В статье рассматривается обоснование технической возможности и расчёт параметров пиропатрона для активации системы с бинарной смесью. Объем смеси ОТВ составляет 112 мл, которая помещена в баллоне объемом 1 л [12–15].

Результаты исследования и их обсуждение

Таким образом, в ходе проведенных исследований были решены следующие задачи:

1. Подобран конкретный тип пиропатрона и пиросостава.
2. Рассчитана масса пиросостава, необходимая для создания давления в баллоне около 8 атм.
3. Разработана схема модульной системы пиропатрона.
4. Проведен сравнительный анализ с термическим методом активации (трубчатый электронагреватель (ТЭН)).

Проведем расчет параметров пиропатрона.

Исходные данные для расчета следующие:

- объем баллона (V) = 1 л = 0,001 м³ (объем экспериментального баллона);
- требуемое избыточное давление (ΔP) = 8 атм \approx 0,709 МПа (примерное минимальное давление необходимое для создание водяного тумана и капель определенного размера);
- примерная температура газов пиросгорания (T) принимается равной 2 000 К (для проведения оценочного теоретического расчёта, когда точный состав пиропатрона неизвестен, принято использовать усреднённое значение. 2 000 К – это типичная температура для широкого класса перхлоратных составов [16] (например, циркониево-перхлоратный – ZPP, калиево-перхлоратный), которые активно применяются в промышленности (пиропатроны подушек безопасности, отсечные устройства и т.д.);
- удельный объем газа для нитроцеллюлозы ($V_{уд}$) \approx 900 л/кг (взяты из справочных данных по пиротехническим составам).

Расчет массы пиросостава через $V_{уд}$:

1. Объем газа при нормальных условиях $P = 101,3$ кПа, $T = 0$ °С:

$$V_{газа} = \frac{\Delta P \cdot V}{P_0} = \frac{0,709 \cdot 0,001}{0,101} \approx 0,00702 \text{ м}^3 \approx 7,02 \text{ л.}$$

2. Масса пиросостава будет следующая:

$$m_p = \frac{V_{газа}}{V_{уд}} = \frac{0,00702}{0,9} \approx 0,0078 \text{ кг} = 7,8 \text{ г.}$$

Проведем дополнительный расчет.

Уточненный расчет по уравнению Менделеева-Клапейрона:

$$n = \frac{\Delta P \cdot V}{R \cdot T} = \frac{0,709 \cdot 0,001}{8,314 \cdot 2000} \approx 0,0426 \text{ моль.}$$

При молярной массе продуктов сгорания ~ 30 г/моль:

$$m_p = n \cdot M = 0,0426 \cdot 30 \approx 1,28 \text{ г.}$$

Инженерный расчёт всегда включает запас прочности конструкции. Для пиротехнических систем этот запас может составлять как минимум 1,5–2 раза, поэтому для таких модульных установок принимаем расчетную массу заряда ~3,0–4,0 г [17]. В табл. 2 приведены данные о подобных расчетах с другими составами пиропатрона.

Таблица 2

Примеры пиропатронов и составов

№ п/п	Параметр / Тип состава	Нитроцеллюлоза (NC)	Циркониево-перхлоратный (ZPP)	Дымный порошок
1	Удельный объем газа, л/кг	900–1 000	~400	~300
2	Расчетная масса заряда, г	~3,0–4,0	~7,0–8,0	~10,0–12,0
3	Скорость горения	Высокая (20–50 мм/с)	Очень высокая (>1 000 мм/с)	Низкая (1–10 мм/с)
4	Стабильность	Высокая	Высокая	Низкая
5	Применение	Промышленные детонаторы	Пиропатроны NASA (NSI)	Устаревший состав
6	Срок сохранности	10–15 лет	15–20 лет	2–5 лет
7	Температура хранения	-40...+50 °С	-60...+60 °С	+15...+25 °С

На основании приведенных табличных параметров и расчетов для системы могут быть рекомендованы пиропатроны с примерной массой заряда 3–4 г на основе нитроцеллюлозы, пиропатрон примерной с массой заряда 7–8 г циркониево-перхлоратный (ZPP) и пиропатрон с дымным порошком и примерной массой заряда ~10,0–12,0 г.

Для практической реализации данной системы необходимо разработать модель данной модульной системы. На рис. 1 представлена модель системы пожаротушения на основе бинарных смесей.

Теоретический потенциал пиропатрона как активатора делает его уникальным решением для создания систем сверхбыстрого реагирования, где каждая миллисекунда задержки может привести к неконтролируемому развитию пожара. Его применение особенно перспективно для защиты объектов с высокими скоростями распространения пламени, быстрым нарастанием температуры или с наличием материалов, склонных к термическому разложению (например, некоторые виды пылей, легковоспламеняющиеся жидкости).

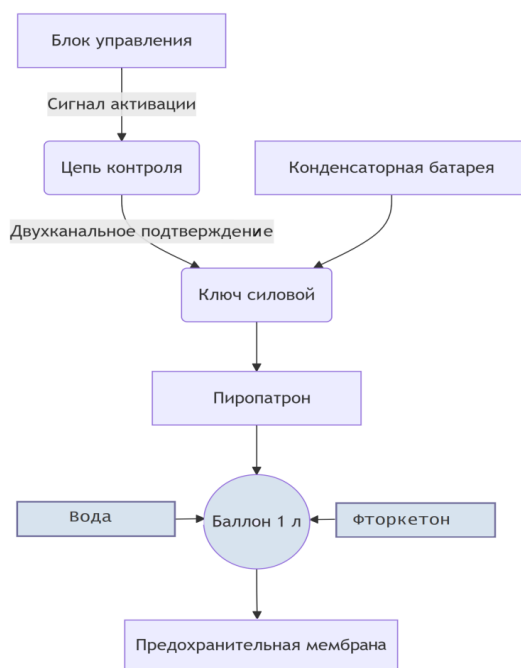


Рис. 1. Модель модульной системы пожаротушения

Система с таким способом активации почти совершенна, но имеет и свои недостатки:

1. Нормативно-правовые ограничения: работа с пиротехническими инициирующими устройствами требует лицензий МЧС России, Ростехнадзора и Росгвардии.

2. Безопасность: высокий риск несанкционированного срабатывания и разрушения системы.

3. Деграция ОТВ: высокая температура газов ($>1\ 500\ ^\circ\text{C}$) неминуемо может привести к термическому разложению фторкетона с образованием высокотоксичного фтороводорода (HF) и карбонилфторида (COF_2), что делает процесс тушения крайне опасным для людей.

Для большей наглядности рассмотрим нагрев бинарной смеси, альтернативным источником нагрева, например электрическим ТЭНом. Для данной системы подберем ТЭН примерной мощности от 3,5 до 5 кВт, что бы инертность системы составляла около 5–15 с.

В табл. 3 представлен сравнительный анализ активации пиропатрона с электрическим ТЭНом.

Таблица 3

Сравнительный анализ пиропатрона с электрическим ТЭНом

№ п/п	Параметр	Пиропатрон (П)	ТЭН (Т)	Вывод
1	Скорость активации	$< 5\ \text{мс}$	5–15 с	(П) в разы быстрее
2	Энергопотребление	Низкое (импульс)	Высокое (3–5 кВт)	(П) энергоэффективнее
3	Надежность	Высокая (простая конструкция)	Высокая (простая конструкция)	(П) Но одноразовый
4	Безопасность	Низкая (риск взрыва, ложное срабатывание)	Высокая (постепенный нагрев)	(Т) предпочтительнее

№ п/п	Параметр	Пиропатрон (П)	ТЭН (Т)	Вывод
5	Нормативные ограничения	Жесткие (лицензии МЧС России)	Отсутствуют	(Т) проще в реализации
6	Влияние на ОТВ	Высокий риск (разложение на HF, COF ₂)	Отсутствие риска	(Т) сохраняет состав
7	Зависимость от внешнего снабжения	Подрывается от источника тока в 2–3 А	Питается от сети 220 В (нагрев около 20–30 с)	(П) наименьшие затраты по времени и энергии

Заключение

На основании данных, представленных в табл. 3, можно сделать вывод что, бинарные системы, как и любая другая передовая технология, не лишены сложностей. Внедрению бинарных систем мешают два ключевых препятствия: сложность конструкции и неразвитость нормативной базы, а так же усложненная архитектура, которая включает в себя дозаторы и смесители, требует высокоточной сборки и тщательного обслуживания, что увеличивает риск отказов. Кроме того, отсутствие готовых регламентов означает необходимость разработки специальных технических условий (СТУ) и проведения дополнительных испытаний для получения разрешений.

Несмотря на эти недостатки и ограничения, совокупность преимуществ бинарных систем делает их перспективным решением для защиты критически важных объектов, таких как серверные, объекты культуры и т.д.

Подводя итоги, стоит отметить следующее, что проведенное исследование показывает, несмотря на техническую возможность реализации системы с пиропатроном, ее практическое применение сопряжено с некоторыми трудностями на данном этапе: нормативно-правового характера и, что самое главное, с вопросами безопасности персонала из-за риска деградации огнетушащего вещества и несанкционированных пусков системы. Дальнейшее развитие бинарных систем пожаротушения должно идти по пути использования безопасных, управляемых и сертифицированных методов активации, а так же накопления экспериментальных и статистических данных применяемых бинарных систем.

Список источников

1. Богданов П.Н., Дементьев Ф.А. Перспективы создания комбинированных огнетушащих составов на основе воды и озоноразрушающих хладонов // Научно-аналитический журнал «Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России». 2012. Т. 20. № 4. С. 147–150.
2. Богданов П.Н., Дементьев Ф.А. Поиск альтернативных фреонов для комбинированных составов в модульных установках пожаротушения, применяемых на транспорте // Надзорная деятельность и судебная экспертиза в системе безопасности. 2013. № 4. С. 9–13.
3. Булгакова Н.С. Конвективная устойчивость бинарной смеси в пористом прямоугольнике при модуляции градиента температуры // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. 2011. № 3. С. 22–26.
4. Панкин К.Е., Ивченко О.А. Тушение лесных горючих материалов гидрогелями на основе гидроксида алюминия // Природопользование. 2019. № 1. С. 76–84.
5. Бондаренко Ж.В., Адамцевич Н.Ю., Бруцкая И.О. Пенообразование в водных растворах бинарных смесей анионного и неионогенного поверхностно-активных веществ //

Труды БГТУ. Сер. 2: Химические технологии, биотехнология, геоэкология. 2017. Сер. 2. № 2. С. 127–131.

6. Богданов П. Н., Дементьев Ф.А. Совершенствование комбинированных огнетушащих составов на основе воды и фреонов // Надзорная деятельность и судебная экспертиза в системе безопасности». 2013. № 1. С. 65–68.

7. Взрывное вскипание струй перегретой жидкости при истечении через щелевой канал / А.В. Решетников [и др.] // Труды шестой российской национальной конференции по теплообмену. 2014. С. 629–631.

8. Взрывное вскипание и полный развал струи перегретой воды / А.В. Решетников [и др.] // Тепловые процессы в технике. 2013. Т. 5. № 7. С. 295–302.

9. Некоторые аспекты распыла перегретой воды при взрывном вскипании / В.М. Батенин [и др.] // ДАН. 2010. Т. 431. № 3. С. 326–329.

10. Polanco G., Hold A.E., Munday G. General review of flashing jet studies // Hazardous Materials. 2010. № 173. P. 2–18.

11. Исаев О.А., Шуравенко Н.А. Исследование формы распыла струи с ростом перегрева жидкости на выходе из насадка // Теплофизические свойства жидкостей и взрывное вскипание. 1976. С. 85–97.

12. Переходные режимы вскипания струй перегретой воды / А.В. Решетников [и др.] // Теплофизика и аэромеханика. 2012 г. Т. 19. № 3. С. 357–369.

13. Агеев А.Г., Галанова А.П. Повышение эффективности централизованных систем пожаротушения самолета // Вестник Московского авиационного института. 2023. Т. 30. № 1. С. 98–106.

14. Руднев Е.В. Исследование эффективности тушения пожаров комбинированными огнетушащими составами на основе воды: материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. памяти профессора кафедры криминалистики и инженерно-технических экспертиз М.А. Галишева. СПб., 2025. С. 103–105.

15. Баланюк В.М., Журбинский Д.А. Флегматизация газоаэрозольной смесью горючих систем // Safety & Fire Technology. 2013. № 4. С. 53–58.

16. Фиошина М.А., Русин Д.Л. Физико-химические свойства взрывчатых веществ, порохов и твердых ракетных топлив: учеб. пособие. 2007. С. 274.

17. Фиошина М.А., Русин Д.Л. Основы химии и технологии порохов и твердых ракетных топлив: учеб. пособие. 2-е изд., перераб. и доп. М.: РХТУ, 2004. 261 с.

References

1. Bogdanov P.N., Dement'ev F.A. Perspektivy sozdaniya kombinirovannyh ognetushashchih sostavov na osnove vody i ozononerazrushayushchih hladonov // Nauchno-analiticheskij zhurnal «Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta Gosudarstvennoj protivopozharnoj sluzhby MCHS Rossii». 2012. Т. 20. № 4. S. 147–150.

2. Bogdanov P.N., Dement'ev F.A. Poisk al'ternativnyh freonov dlya kombinirovannyh sostavov v modul'nyh ustanovkah pozharotusheniya, primenyaemyh na transporte // Nadzornaya deyatel'nost' i sudebnaya ekspertiza v sisteme bezopasnosti. 2013. № 4. S. 9–13.

3. Bulgakova N.S. Konvektivnaya ustojchivost' binarnoj smesi v poristom pryamougol'nike pri modulyacii gradienta temperatury // Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Severo-Kavkazskij region. Estestvennye nauki. 2011. № 3. S. 22–26.

4. Pankin K.E., Ivchenko O.A. Tushenie lesnyh goryuchih materialov gidrogelyami na osnove gidroksida alyuminiya // Prirodopol'zovanie. 2019. № 1. S. 76–84.

5. Bondarenko Zh.V., Adamcevic N.Yu., Bruckaya I.O. Penoobrazovanie v vodnyh rastvorah binarnykh smesey anionnogo i neionnogo poverhnostno-aktivnykh veshchestv // Trudy BGTU. Ser. 2: Himicheskie tekhnologii, biotekhnologiya, geoekologiya. 2017. Ser. 2. № 2. S. 127–131.

6. Bogdanov P. N., Dement'ev F.A. Sovershenstvovanie kombinirovannyh ognetyashchih sostavov na osnove vody i freonov // *Nadzornaya deyatel'nost' i sudebnaya ekspertiza v sisteme bezopasnosti*. 2013. № 1. S. 65–68.
7. Vzryvnoe vskipanie struj peregretoj zhidkosti pri istechenii cherez shchelevoj kanal / A.V. Reshetnikov [i dr.] // *Trudy shestoj rossijskoj nacional'noj konferencii po teploobmenu*. 2014. S. 629–631.
8. Vzryvnoe vskipanie i polnyj razval strui peregretoj vody / A.V. Reshetnikov [i dr.] // *Teplovyje processy v tekhnike*. 2013. T. 5. № 7. S. 295–302.
9. Nekotorye aspekty raspyla peregretoj vody pri vzryvnom vskipanii / V.M. Batenin [i dr.] // *DAN*. 2010. T. 431. № 3. S. 326–329.
10. Polanco G., Hold A.E., Munday G. General review of flashing jet studies // *Hazardous Materials*. 2010. № 173. P. 2–18.
11. Isaev O.A., Shuravenko N.A. Issledovanie formy raspyla strui s rostom peregreva zhidkosti na vyhode iz nasadka // *Teplofizicheskie svojstva zhidkostej i vzryvnoe vskipanie*. 1976. S. 85–97.
12. Perekhodnye rezhimy vskipaniya struj peregretoj vody / A.V. Reshetnikov [i dr.] // *Teplofizika i aeromekhanika*. 2012 g. T. 19. № 3. S. 357–369.
13. Ageev A.G., Galanova A.P. Povyshenie effektivnosti centralizovannyh sistem pozharotusheniya samoleta // *Vestnik Moskovskogo aviacionnogo instituta*. 2023. T. 30. № 1. S. 98–106.
14. Rudnev E.V. Issledovanie effektivnosti tusheniya pozharov kombinirovannymi ognetyashchimi sostavami na osnove vody: materialy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf.,
15. posvyashch. pamyati professora kafedry kriminalistiki i inzhenerno-tekhnicheskikh ekspertiz M.A. Galisheva. SPb., 2025. S. 103–105.
16. Balanyuk V.M., Zhurbinskij D.A. Flegmatizaciya gazoerozol'noj smes'yu goryuchih sistem // *Safety & Fire Technology*. 2013. № 4. S. 53–58.
17. Fioshina M.A., Rusin D.L. Fiziko-himicheskie svojstva vzryvchatyh veshchestv, porohov i tverdyh raketnyh topliv: ucheb. posobie. 2007. S. 274.
18. Fioshina M.A., Rusin D.L. Osnovy himii i tekhnologii porohov i tverdyh raketnyh topliv: ucheb. posobie. 2-e izd., pererab. i dop. M.: RHTU, 2004. 261 s.

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 16.12.2025; одобрена после рецензирования: 25.02.2025;
принята к публикации: 06.03.2026

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 16.12.2025; approved after review: 25.02.2025;
accepted for publication: 06.03.2026

Сведения об авторах:

Сорокин Игорь Александрович, доцент кафедры физико-химических основ процессов горения и тушения Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: igor_40in@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0183-9601>, SPIN-код: 8002-4750

Булатов Вячеслав Олегович, доцент кафедры криминалистики и инженерно-технических экспертиз Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат технических наук, e-mail: 79112231238@ya.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4907-1024>, SPIN-код: 1739-4507

Руднев Евгений Владимирович, адъюнкт факультета подготовки кадров высшей квалификации Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: 53rudnev@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9759-6039>, SPIN-код: 1567-3575

Information about the authors:

Sorokin Igor A., associate professor of the department of physical and chemical foundations of combustion and extinguishing processes of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave, 149), e-mail: igor_40in@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0183-9601>, SPIN: 8002-4750

Bulatov Vyacheslav O., associate professor of the department of criminalistics and engineering and technical expertise of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave, 149), candidate of technical sciences, e-mail: 79112231238@ya.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4907-1024>, SPIN: 1739-4507

Rudnev Evgeny V., associate professor at the faculty of advanced training of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave, 149), e-mail: 53rudnev@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9759-6039>, SPIN: 1567-3575