

**ОХРАНА ТРУДА, ПОЖАРНАЯ И ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ/LABOR PROTECTION, FIRE AND INDUSTRIAL SAFETY**DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.168.14> EDN: GTMXHD**РАЗРАБОТКА РЕЦЕПТУРЫ КОМПРЕССИОННОЙ ПЕНЫ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩЕЙ ЭФФЕКТИВНОЕ ТУШЕНИЕ ПОЖАРОВ КЛАССА «В»**

Научная статья

Пустовалов И.А.^{1,*}, Титова Е.А.², Иванов А.В.³, Москальонов А.В.⁴¹ ORCID : 0000-0002- 8059-6988;² ORCID : 0000-0001-9064-2901;³ ORCID : 0000-0002-4854-9321;¹ Академия ГПС МЧС России, Москва, Российская Федерация^{2,3,4} Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (ilya_pustovalov_2020[at]bk.ru)

Предложена: 14.04.2026; Принята: 22.05.2026; Опубликовано: 17.06.2026

Аннотация

В работе рассматриваются эксплуатационные характеристики компрессионных, разработанных на основе различных пенообразователей в целях определения оптимальной рецептуры для эффективного тушения пожаров класса «В». Типы пенообразователей, используемые в работе: AFFF/FR, S/синтетический, AFFF, AFFF/AR, S/AR. Исследование огнетушащего потенциала САФ-систем реализуется через три взаимосвязанных механизма: способность формировать сплошное адгезивное покрытие, блокирующее доступ кислорода к очагу горения; интенсивное охлаждение поверхности за счет высокой теплоемкости мелкодисперсной пенной структуры; подавление выделения горючих паров благодаря образованию стабильного барьерного слоя. По результатам исследований установлено, самым эффективным огнетушащим веществом является компрессионная пена с 6 об.% раствором пенообразователя типа S/AR.

Ключевые слова: компрессионная пена, пенообразователь, пожар, огнетушащая эффективность.**DEVELOPMENT OF A FORMULA FOR COMPRESSED AIR FOAM TO ENSURE EFFECTIVE EXTINGUISHING OF CLASS "B" FIRES**

Research article

Pustovalov I.A.^{1,*}, Titova Y.A.², Ivanov A.V.³, Moskalonov A.V.⁴¹ ORCID : 0000-0002- 8059-6988;² ORCID : 0000-0001-9064-2901;³ ORCID : 0000-0002-4854-9321;¹ Academy of State Fire Service of EMERCOM of Russia, Moscow, Russian Federation^{2,3,4} Saint-Petersburg University of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russian Federation

* Corresponding author (ilya_pustovalov_2020[at]bk.ru)

Suggested: 14.04.2026; Accepted: 22.05.2026; Published: 17.06.2026

Abstract

The work examines the performance characteristics of compressed systems developed using various foaming agents, in order to determine the optimal formulation for the effective extinguishing of class "B" fires. The types of foaming agents used in the study are the following: AFFF/FR, S/synthetic, AFFF, AFFF/AR, and S/AR. The research of the fire extinguishing potential of CAF systems is carried out through three interrelated mechanisms: the ability to form a solid adhesive coating that blocks oxygen access to the combustion source; intensive cooling of the surface due to the high heat capacity of the finely dispersed foam structure; suppression of the release of flammable vapours through the formation of a stable barrier layer. The research results have established that the most effective fire-extinguishing agent is compressed air foam with a 6% by volume solution of an S/AR-type foaming agent.

Keywords: compressed air foam, foaming agent, fire, fire-extinguishing effectiveness.**Введение**

Компрессионные воздушно-механические пены САФ (Compressed Air Foam), представляют собой тип огнетушащей пены, отличающийся структурной стабильностью, сильной адгезией, обеспечивающей надежное прилипание к различным поверхностям для создания сплошного, устойчивого к сдуванию барьера, а также способностью проникать в труднодоступные места за счет энергии сжатого воздуха [1]. Экспериментально подтверждено влияние на эксплуатационные характеристики пены таких факторов, как давление на выходе из САФ системы [2], тип пенообразователя и его концентрация [3], применяемые добавки [4], [5], интенсивность теплового излучения [6], соотношение раствора пены и воздуха [7].

Как правило, в САФ системе используют раствор пенообразователя, который смешивается со сжатым воздухом в строго контролируемых пропорциях под высоким давлением, что приводит к турбулентному перемешиванию и образованию характерной мелкопузырчатой структуры.

В настоящее время ведутся исследования, расширяющие область применения компрессионных пен при тушении пожаров: класса «А», класса «В» [8], а также литий-ионных аккумуляторов [9], [10].

Актуальность работы обусловлена отсутствием стандартизированных рецептур САФ для класса «В».

В работе исследуется огнетушащий потенциал САФ-систем, который реализуется через три взаимосвязанных механизма:

- способность формировать сплошное адгезивное покрытие, блокирующее доступ кислорода к очагу горения;
- интенсивное охлаждение поверхности за счет высокой теплоемкости мелкодисперсной пенной структуры;
- подавление выделения горючих паров благодаря образованию стабильного барьерного слоя.

Методы и принципы исследования

2.1. Объект исследования

Объект исследования — компрессионные воздушно-механические пены (САФ), разработанные на водной основе с содержанием различных типов пенообразователей: AFFF/FR, S/синтетический, AFFF, AFFF/AR, S/AR (рисунок 1).

Особое внимание уделяется разработке оптимальных рецептур с концентрацией рабочих растворов в диапазоне 6,0 об.%. Ключевыми компонентами разрабатываемых составов являются базовые пенообразователи, сжатый воздух под давлением 6–8 бар. Параметрами генерации исследуемых пен выступают оптимальное соотношение воздух/раствор в пределах 1:4-1:7, расход подачи не менее 200 л/мин и коэффициент расширения от 8:1 до 15:1.

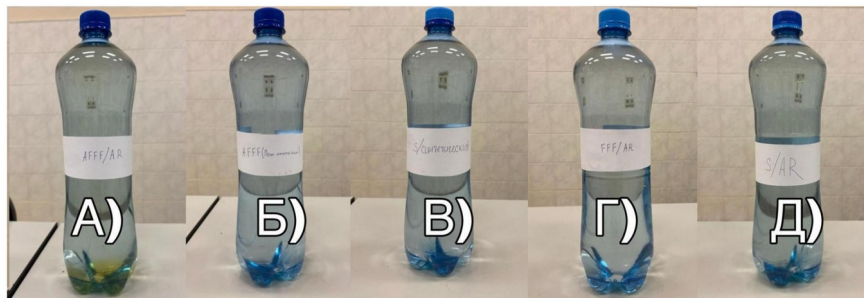


Рисунок 1 - Огнетушащие растворы пенообразователя:
а - 6% AFFF/AR; б - 6% AFFF; в - 6% S/синтетический; г - 6% AFFF/AR; д - 6% S/AR
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.168.14.1>

2.2. Исследование устойчивости полученных пен осуществлялось согласно ГОСТ Р 50588-2012

Раствор пенообразователя объемом 100 мл получен в лабораторной установке компрессионной пены. Масса и высота столба пены измерялась до и после заполнения мерной цилиндрической емкости объемом 1000 мл. В завершении измерялся осадок на дне мерного цилиндра.

2.3. Исследование структуры пены

Для исследования замороженных пузырьков образцы компрессионной пены фиксировались криогенным методом над поверхностью жидкого азота, после чего замороженные образцы подвергались поперечному срезу и анализу распределения размеров пузырьков при помощи линейки (рисунок 2).

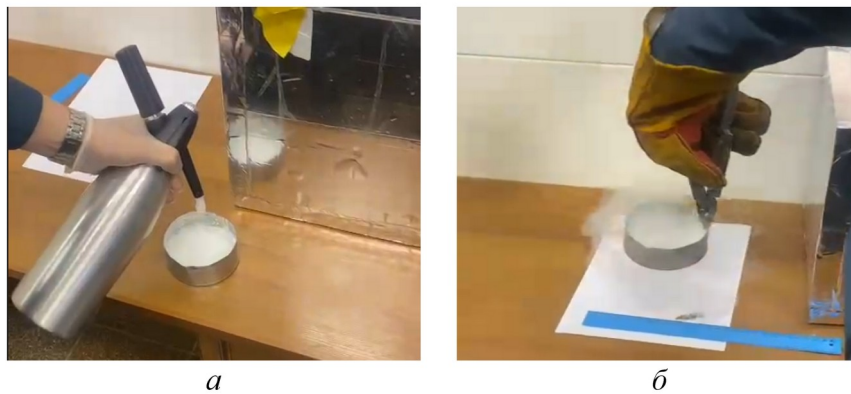


Рисунок 2 - Стадии подготовки к исследованию структуры пены:

a - заполнение мерного сосуда воздушно-механической пеной; *б* - результат криогенного воздействия на вещество
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.168.14.2>

2.4. Исследование времени тушения модельных очагов пожара класса «В» компрессионной пеной

Исследование проводилось в лабораторной установке (рисунок 3 а), которая состоит из призматического короба, выполненного листовым металлом толщиной 10 мм с вытяжным цилиндрическим отверстием (2), весов (3), емкости с легковоспламеняющейся жидкостью — бензин БР1 (4), устройств измерения температуры (5).

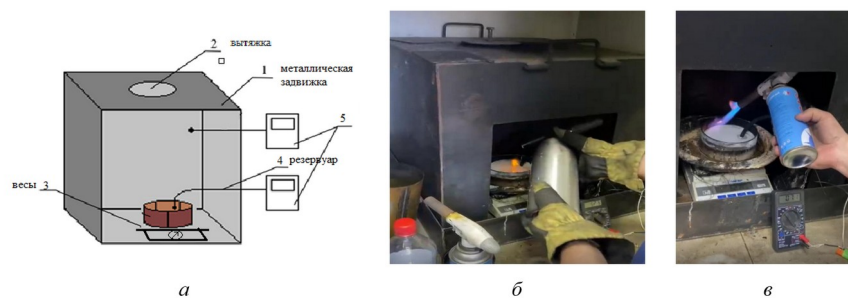


Рисунок 3 - Исследование времени тушения модельного очага пожара класса «В» компрессионной пеной:
a - схема лабораторной установки; *б* - процесс тушения модельного очага пожара класса «В»; *в* - попытка повторного воспламенения очага

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.168.14.3>

Тушение проводилось компрессионной пеной объемом 100 мл. Содержание пенообразователя составляло 6 об.%. Интенсивность подачи огнетушащего вещества — 1,4 л/(с·м²).

Результаты и обсуждения

На рисунке 4 (а) приведены результаты исследования стойкости компрессионной пены, с содержанием пенообразователя 6,0 об.%. Лучшие результаты показала компрессионная пена, с содержанием пенообразователя типа S/AR: время разрушения составило около 615 секунд.

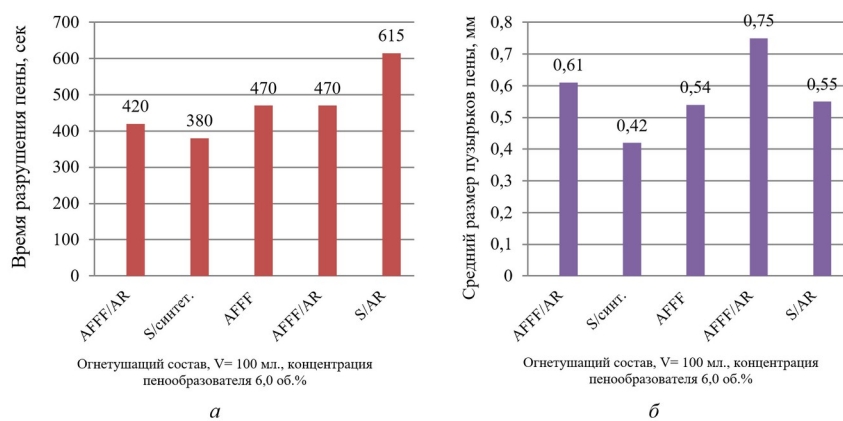


Рисунок 4 - Результаты исследований:

а - определение стойкости компрессионной пены; б - определение размеров пузырьков в замороженном виде

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.168.14.4>

Проведя лабораторные исследования на влияние модификаторов на стойкость воздушно-механических пен, можно сделать вывод о том, что наиболее оптимальный огнетушащий для тушения легковоспламеняющейся жидкости является огнетушащий состав — «S/AR», так как имеет наибольшую стойкость по сравнению с другими исследуемыми образцами огнетушащих составов воздушно-механических пен.

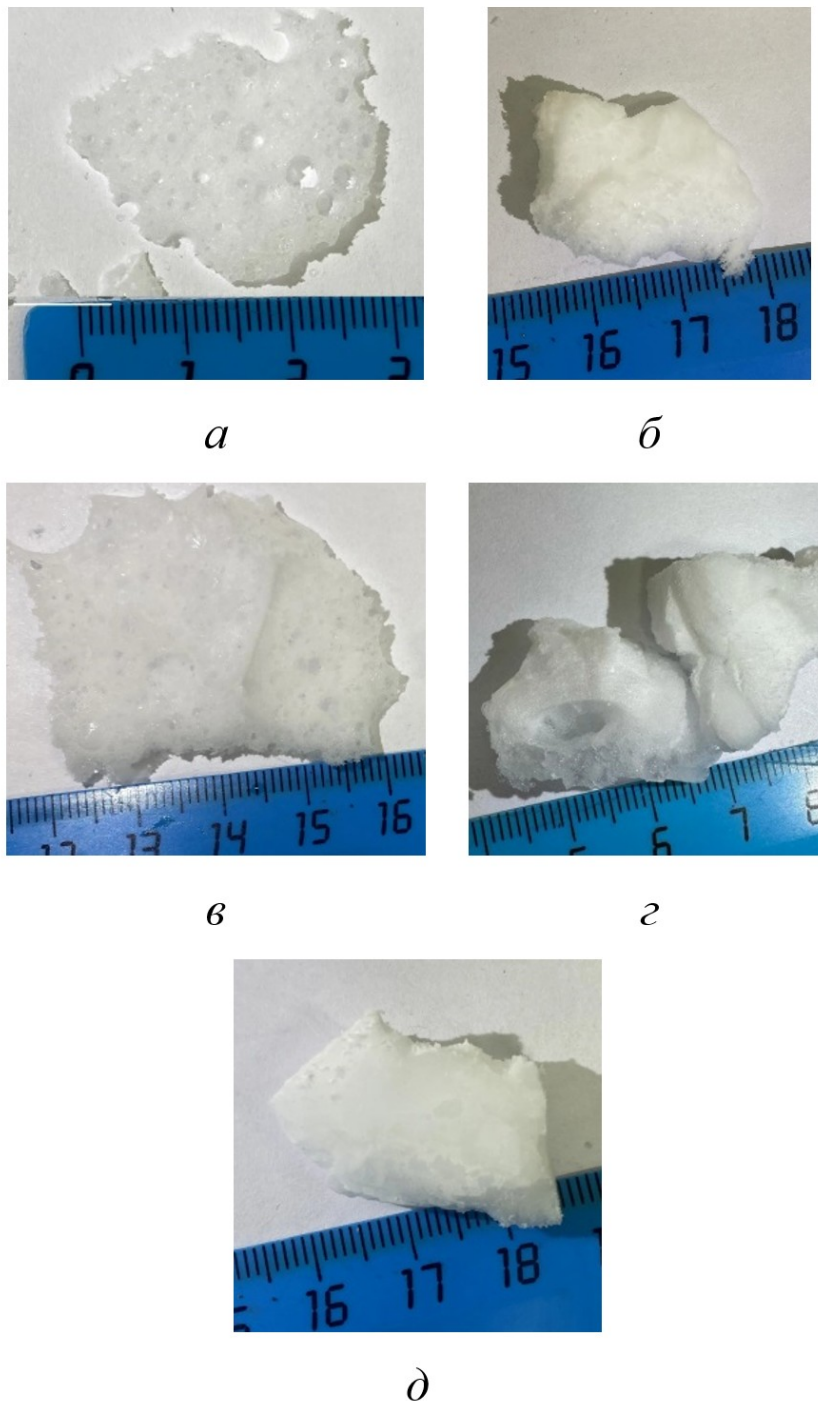


Рисунок 5 - Микроструктура компрессионной пены после криогенной фиксации:
а - 6% AFFF/AR; б - 6% S/синтетический; в - 6% AFFF; г - 6% S/AR; д - 6% AFFF/AR
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.168.14.5>

Исследование микроструктуры компрессионной пены после криогенной фиксации показало, что среднее распределение размера пузырьков пены составляет от 0,55 до 0,75 мм (рисунки 4б, 5).

Исследование времени тушения легковоспламеняющейся жидкости отображено на графике зависимости массы от времени. Расчет времени тушения ЛВЖ.

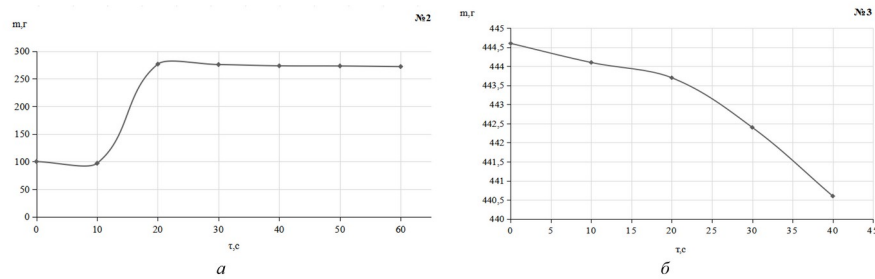


Рисунок 6 - Зависимость изменения массы компрессионной пены от времени тушения модельного очага пожара класса «В» при применении пенообразователя. Микроструктура компрессионной пены после криогенной фиксации:

a - 6% AFFF/AR; *б* - 6% AFFF

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.168.14.6>

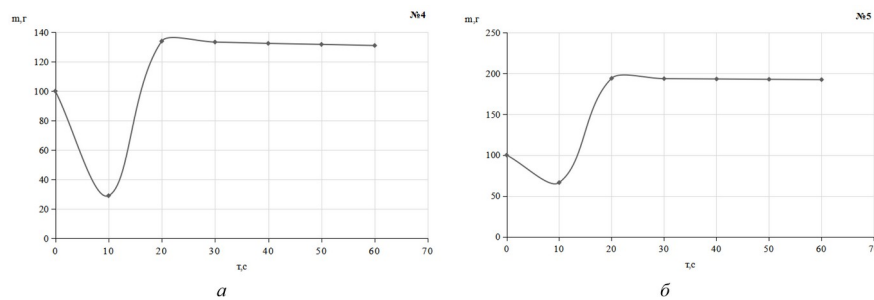


Рисунок 7 - Зависимость изменения массы компрессионной пены от времени тушения модельного очага пожара класса «В» при применении пенообразователя. Микроструктура компрессионной пены после криогенной фиксации:

a - 6% AFFF/AR; *б* - 6% S/синтетический

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.168.14.7>

В таблице 4 представлено время, за которое модельный очаг был потушен различными образцами пенообразователя и так же попытка повторного возгорания при помощи газовой горелки.

Таблица 1 - Время тушения модельного очага и устойчивость к повторному воспламенению различных пенообразователей

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.168.14.8>

№ п/п	Огнетушащий состав, 100 мл	Время тушения модельного очага (сек)	Время повторного воспламенения после воздействия пламенем горелки (сек)
1	AFFF/AR	7,55	-
2	S/синтетический	8,43	-
3	AFFF	12,32	8,32
4	AFFF/AR	8,33	-
5	S/AR	6,42	-

Заключение

Экспериментальная часть исследования доказала высокую эффективность компрессионных пен при тушении модельных очагов пожара класса «В». В частности, для подслоного тушения легковоспламеняющихся жидкостей оптимальным признан 6 об.% раствор пенообразователя «S/AR», продемонстрировавший максимальную стойкость и быстрое подавление пламени бензина БР1.

Полученные данные подчеркивают критическую важность точного контроля параметров генерации пены, включая соотношение воздух/раствор, концентрацию пенообразователя и расход подачи.

Особого внимания заслуживают практические аспекты применения САФ-технологий. Исследования подтвердили их высокую эффективность при тушении пожаров класса «В» благодаря способности создавать физические барьеры, блокирующие как лучистую энергию, так и выделение горючих паров.

**Конфликт интересов**

Не указан.

Рецензия

Беляк А.Л., Восточно-Сибирский институт МВД России,
Иркутск Российская Федерация
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.168.14.9>

Conflict of Interest

None declared.

Review

Belyak A.L., East Siberian Institute of the Ministry of Internal
Affairs of Russia, Irkutsk Russian Federation
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.168.14.9>

Список литературы / References

1. Guo Y. Spreading and adhesion properties of compressed air foam on vertical facades: Effects of gas-liquid ratio and spray angle / Y. Guo, Q. Feng, Z. Li et al. // *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. — 2026. — № 737. — P. 139829. — DOI: [10.1016/j.colsurfa.2026.139829](https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2026.139829)
2. Ma Q. Effect of Outlet Pressure on Foam Performance in a Compressed Air Foam System / Q. Ma, C. Liu, X. Li et al. // *Fire*. — 2026. — № 9 (3). — P. 120. — DOI: [10.3390/fire9030120](https://doi.org/10.3390/fire9030120)
3. White J.P. An Experimental Study of Compressed Air Foam (CAF) Protection for Ignitable Liquid Spill Fires / J.P. White, Y. Xin // *Fire Safety Journal*. — 2026. — № 161. — P. 104668. — DOI: [10.1016/j.firesaf.2026.104668](https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2026.104668)
4. Пустовалов И.А. Добавки для повышения эффективности тонкораспыленной воды при тушении пожаров нефтепродуктов / И.А. Пустовалов, А.В. Иванов // *Техносферная безопасность*. — 2024. — № 1 (42). — С. 2–11.
5. Иванов А.В. Научные основы модифицирования огнетушащих и защитных составов для объектов нефтегазового комплекса / А.В. Иванов // *Проблемы управления рисками в техносфере*. — 2025. — № 4 (76). — С. 143–156. — DOI: [10.61260/1998-8990-2025-4-143-156](https://doi.org/10.61260/1998-8990-2025-4-143-156)
6. Chen F Study on characteristics and combustion inhibition efficiency of compressed air foam under high temperature thermal radiation / F Chen, J. Tao, H. Gou et al. // *Case Studies in Thermal Engineering*. — 2025. — № 74. — P. 107016. — DOI: [10.1016/j.csite.2025.107016](https://doi.org/10.1016/j.csite.2025.107016)
7. Сизонова Н.А. Средства получения и перспективы применения компрессионной пены в пожаротушении / Н.А. Сизонова // *Научно-аналитический журнал «Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России»*. — 2024. — № 2. — С. 146–155. — DOI: [10.61260/2218-130X-2024-2-146-155](https://doi.org/10.61260/2218-130X-2024-2-146-155)
8. Киселева В.С. Влияние углеродных наномодификаторов на термическую стабильность огнетушащих и защитных составов / В.С. Киселева, А.В. Иванов // *XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс*. — 2025. — № 3 (71). — С. 128–132.
9. Huang X. Analysis of the Effects of Different Water Based Extinguishing Agents on the Electro-Thermal Performance of 26700 Sodium-Ion and Lithium-Ion Batteries / X. Huang, F. Li, F. Xue et al. // *Process Safety and Environmental Protection*. — 2026. — № 207. — P. 108382. — DOI: [10.1016/j.psep.2025.108382](https://doi.org/10.1016/j.psep.2025.108382)
10. Zhu X. Comparative Studies on Different Isolation Disposal Technologies for Full-Scale Electric Vehicle Fire / X. Zhu, J. Zhang, Y. Guo // *2025 International Conference on New Power System Technology (PowerCon)*. — IEEE, 2025. — P. 1–4. — DOI: [10.1109/PowerCon66300.2025.11294581](https://doi.org/10.1109/PowerCon66300.2025.11294581).

Список литературы на английском языке / References in English

1. Guo Y. Spreading and adhesion properties of compressed air foam on vertical facades: Effects of gas-liquid ratio and spray angle / Y. Guo, Q. Feng, Z. Li et al. // *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. — 2026. — № 737. — P. 139829. — DOI: [10.1016/j.colsurfa.2026.139829](https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2026.139829)
2. Ma Q. Effect of Outlet Pressure on Foam Performance in a Compressed Air Foam System / Q. Ma, C. Liu, X. Li et al. // *Fire*. — 2026. — № 9 (3). — P. 120. — DOI: [10.3390/fire9030120](https://doi.org/10.3390/fire9030120)
3. White J.P. An Experimental Study of Compressed Air Foam (CAF) Protection for Ignitable Liquid Spill Fires / J.P. White, Y. Xin // *Fire Safety Journal*. — 2026. — № 161. — P. 104668. — DOI: [10.1016/j.firesaf.2026.104668](https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2026.104668)
4. Pustovalov I.A. Dobavki dlya pov'ysheniya e'ffektivnosti tonkoraspy'lennoj vody' pri tushenii pozharov nefteproduktov [Additives For Improving The Efficiency Of Fine Spray Water In Extinguishing Oil Product Fire] / I.A. Pustovalov, A.V. Ivanov // *Technosphere safety*. — 2024. — № 1 (42). — P. 2–11. [in Russian]
5. Ivanov A.V. Nauchny'e osnovy' modifitsirovaniya ognetyushashhix i zashhitny'x sostavov dlya ob'ektov neftegazovogo kompleksa [Scientific Basis For Modification Of Fire Extinguishing And Protective Compositions For Oil And Gas Facilities] / A.V. Ivanov // *Problems of risk management in the technosphere*. — 2025. — № 4 (76). — P. 143–156. — DOI: [10.61260/1998-8990-2025-4-143-156](https://doi.org/10.61260/1998-8990-2025-4-143-156) [in Russian]
6. Chen F Study on characteristics and combustion inhibition efficiency of compressed air foam under high temperature thermal radiation / F Chen, J. Tao, H. Gou et al. // *Case Studies in Thermal Engineering*. — 2025. — № 74. — P. 107016. — DOI: [10.1016/j.csite.2025.107016](https://doi.org/10.1016/j.csite.2025.107016)
7. Sizonova N.A. Sredstva polucheniya i perspektivy' primeneniya kompressionnoj peny' v pozharotushenii [Means Of Production And Perspectives Of Compression Foam Application In Fire Fighting] / N.A. Sizonova // *Bulletin of S.-Peterb. University of State Fire Service of EMERCOM of Russia*. — 2024. — № 2. — P. 146–155. — DOI: [10.61260/2218-130X-2024-2-146-155](https://doi.org/10.61260/2218-130X-2024-2-146-155) [in Russian]
8. Kiseleva V.S. Vliyanie uglerodny'x nanomodifikatorov na termicheskuyu stabil'nost' ognetyushashhix i zashhitny'x sostavov [Influence Of Carbon Nanomodifiers On Thermal Stability Of Fire Extinguishing And Protective Compositions] / V.S. Kiseleva, A.V. Ivanov // *XXI century: Resumes of the Past and Challenges of the Present plus*. — 2025. — № 3 (71). — P. 128–132. [in Russian]



9. Huang X. Analysis of the Effects of Different Water Based Extinguishing Agents on the Electro-Thermal Performance of 26700 Sodium-Ion and Lithium-Ion Batteries / X. Huang, F. Li, F. Xue et al. // Process Safety and Environmental Protection. — 2026. — № 207. — P. 108382. — DOI: 10.1016/j.psep.2025.108382

10. Zhu X. Comparative Studies on Different Isolation Disposal Technologies for Full-Scale Electric Vehicle Fire / X. Zhu, J. Zhang, Y. Guo // 2025 International Conference on New Power System Technology (PowerCon). — IEEE, 2025. — P. 1–4. — DOI: 10.1109/PowerCon66300.2025.11294581.