

**ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ
(ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ)
FIRE SAFETY (TECHNICAL)**

УДК 614.842.61

DOI 10.48612/ntp/bzxb-zdgg-8d59

ПОВЕДЕНИЕ ВОЗДУШНО-МЕХАНИЧЕСКИХ ПЕН В УСЛОВИЯХ АРКТИЧЕСКОГО РЕГИОНА: ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ И МИНЕРАЛИЗАЦИИ НА ОСНОВНЫЕ ПОЖАРНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Н. А. АРЗАЕВ¹, Г. К. ИВАХНЮК²

¹Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Санкт-Петербург

²Санкт-Петербургский государственный технологический институт,
Российская Федерация, г. Санкт-Петербург
E-mail: n.arzaef@yandex.ru, fireside@inbox.ru

В работе рассмотрены особенности применения воздушно-механической пены (ВМП) для тушения пожаров классов А и В в условиях арктического климата, характеризующегося экстремально низкими температурами и повышенными требованиями к огнетушащим составам. Цель исследования заключалась в экспериментальной оценке влияния электрофизической обработки (ЭФО) воды и введения минеральных модификаторов различной химической природы поверхности (маршалит SiO_2 , силикагель КСМГ, активированные угли ОУ-А и ОУ-Б) на кратность, устойчивость и кинетику замерзания ВМП. Методика включала лабораторные испытания при температурах от -5 до -15 °С и натурные огневые испытания при среднесуточных температурах от -18 до -26 °С с оценкой времени тушения модельного очага пожара класса В и устойчивости пенной плёнки. Установлено, что ЭФО повышает кратность пены при умеренном снижении её устойчивости, тогда как гидрофильные минерализаторы увеличивают устойчивость ВМП и замедляют её замерзание, обеспечивая сокращение времени тушения до 34 % относительно контрольного состава. Показано, что комбинация ЭФО и гидрофильной минерализации обладает выраженным синергетическим эффектом, повышающим огнетушащую эффективность ВМП в арктических условиях.

Ключевые слова: пористость минерализаторов, маршалит, силикагель, активированный уголь ОУ-А, активированный уголь ОУ-Б, удельная поверхность, воздушно-механическая пена, кратность пены, устойчивость пены, огнетушащая способность, электрофизическая обработка воды

EVALUTION OF THE EFFECT OF MINERALIZER POROSITY ON FIRE-TECHNICAL CHARACTERISTICS OF AIR-MECHANICAL FOAM

N. A. ARZAEV¹, G. K. IVAKHNYUK²

¹Saint Petersburg University of State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia,
Russian Federation, Saint Petersburg

²Saint Petersburg State Technological Institute,
Russian Federation, Saint Petersburg
E-mail: n.arzaef@yandex.ru, fireside@inbox.ru

The paper considers the features of the use of air-mechanical foam (AMF) for extinguishing fires of classes A and B in the Arctic climate, characterized by extremely low temperatures and high requirements for extinguishing agents. The aim of the study was to experimentally evaluate the effect of electrophysical treatment (EPT) of water and the introduction of mineral modifiers of various chemical nature of the surface (marshallite SiO_2 , KCMG silica gel, activated carbons OU-A and OU-B) for the multiplicity, stability and kinetics of freezing of AMF. The methodology included laboratory tests at temperatures from -5 to -15 °C and field fire tests at average daily temperatures from -18 to -26 °C with an assessment of the extinguishing time of a Class

B model fire and the stability of the foam film. It was found that EPT increases the multiplicity of foam with a moderate decrease in its stability, while hydrophilic mineralizers increase the stability of AMF and slow down its freezing, reducing the extinguishing time to 34 % relative to the control composition. It has been shown that the combination of EPT and hydrophilic mineralization has a pronounced synergistic effect, increasing the fire extinguishing efficiency of AMF in Arctic conditions.

Keywords: porosity of mineralizers, marshalite, silica gel, activated carbon OU-A, activated carbon OU-B, specific surface area, air-mechanical foam, foam multiplicity, foam stability, fire extinguishing ability, electrophysical water treatment

Введение

Освоение ресурсов Арктической зоны Российской Федерации относится к числу приоритетных направлений государственной стратегии. Интенсивное развитие нефтегазодобывающей, транспортной и военной инфраструктуры в условиях крайнего севера неизбежно сопровождается повышенными рисками возникновения пожаров и взрывов, в том числе на объектах обращения со сжиженными, углеродными газами (СУГ) и сжиженным природным газом (СПГ). Средние температуры в арктических регионах опускаются до -40°C и ниже, что существенно осложняет применение традиционных огнетушащих веществ и предъявляет принципиально новые требования к средствам пожаротушения.

Воздушно-механическая пена является одним из наиболее универсальных и эффективных огнетушащих веществ для ликвидации пожаров классов А и В. Её применение на объектах хранения и транспортировки нефтепродуктов в условиях Арктики сопряжено с рядом проблем: кристаллизацией жидкой фазы, снижением кратности и стойкости пены, нарушением работы пенообразующего оборудования при низких температурах. Действующая нормативная база задаёт условия испытаний пенообразователей при температурах $15\text{--}25^{\circ}\text{C}$ и относительной влажности 40–80 %, что не отражает реальных условий применения в северных широтах.

Перспективным направлением повышения эффективности ВМП является модификация дисперсной среды реагентными и безреагентными методами [1]. К реагентным методам относится введение наночастиц и минеральных модификаторов, управляющих надмолекулярной структурой пенной системы. К безреагентным – электрофизическое воздействие, изменяющее структуру воды и, тем самым, свойства формируемой пены. Ряд исследований подтверждает, что внедрение гидрофильных минерализаторов при оптимальной концентрации позволяет увеличить устойчивость воздушно-механической пены [2]. Вместе с тем, систематических исследований поведения минерализованных ВМП в условиях отрицательных

температур, характерных для Арктического региона, в открытой научной литературе практически не представлено.

Настоящая работа посвящена исследованию влияния реагентной и безреагентной модификации дисперсной среды на основные пожарно-технические характеристики ВМП – кратность, устойчивость, а также на кинетику замерзания – применительно к условиям Арктического региона. В качестве климатического аналога Арктических условий для лабораторного моделирования использовался зимний период; натурные испытания проводились в открытых условиях при отрицательных температурах.

Материалы и методы исследования

В качестве материалов и модификаторов дисперсной среды рассматривались: дистиллированная вода (ГОСТ Р 58144-2018 Вода дистиллированная. Технические условия. – 2018), водный раствор пенообразователя ПО-6 (3 %, ГОСТ Р 50588-2012. Пенообразователи для тушения пожаров. Общие технические требования и методы испытаний), активированный уголь марок ОУ-А и ОУ-Б (ГОСТ 4453-74 «Уголь активный осветляющий древесный порошкообразный. Технические условия»), маршалит SiO_2 (ГОСТ 99077-82 – межгосударственный стандарт «Кварц молотый пылевидный. Общие технические условия»), а также силикагель крупнопористый гранулированный КСМГ (ГОСТ 3956-76 «Силикагель технический»).

Определение кратности и устойчивости ВМП проводилось в соответствии с ГОСТ Р 50588-2012. Устойчивость пены оценивалась по времени выделения 50 % раствора после окончания подачи огнетушащего вещества (ОТВ).

В рамках лабораторных испытаний образцы ВМП помещались в термостатируемую камеру при температурах -5 , -10 , -15°C . Фиксировалась кинетика замерзания (время полного замерзания образца объемом $0,0001\text{ м}^3$ пены). Параметры рецептур и объемы компонентов задавались в соответствии с экспериментальными сериями:

$$V(\text{H}_2\text{O}) = 0,0001\text{ м}^3,$$

$V(\text{ПО-3}) = 0,000003 \text{ м}^3$,

$V(\text{минерализатора}) = 0,002 \text{ кг}$.

Перед введением пенообразователя и минерализатора дистиллированная вода подвергалась электрофизической обработке переменным частотно-модулируемым сигналом (ПЧМС) при значениях потенциала 18 кВ, несущей частоты 50 Гц, величине тока холостого хода разделительного трансформатора 50 мкА в течении 1800 с [3–5].

Натурные испытания проводились в зимний период при среднесуточных температурах воздуха от -18 до -26 °С и влажности воздуха 80–90 %.

Испытания включали:

- оценку пенообразующей способности СВПЭ-2 при подаче контрольного и модифицированных составов ВМП в условиях отрицательных температур с фиксацией кратности, объема получаемой пены;

- тушение модельного очага пожара класса В на установке с поддоном площадью 2,8 м² ($d = 1900 \text{ мм}$), заполненным н-гептаном объемом 150 дм³. Свободное время горения перед подачей ВМП составляло 120 с. Время подачи пены составляло 120 с. Регистрировалось время тушения и устойчивость пенного слоя на поверхности горючего;

- оценку устойчивости пены в полевых условиях – наблюдение за деградацией пенного слоя, нанесенного на горизонтальную поверхность на открытом воздухе при зафиксированных метеорологических условиях (температура, скорость ветра, влажность).

Эксперименты проводились в четырехкратной повторяемости, а за результат испытания принималось среднеарифметическое значение. При лабораторных испытаниях относительная погрешность определения кратности, устойчивости и времени замерзания воздушно-механической пены не превышала 5 %, тогда как при натурных огневых испытаниях с учетом влияния метеорологических факторов относительная погрешность определения времени тушения не превышала 10 %.

Результаты исследования и их обсуждение

Показатели кратности и устойчивости пены в нормальных условиях представлены в табл. 1.

Полученные результаты выявляют ряд закономерностей: электрофизическая обработка воды ПЧМП обеспечивает прирост кратности ВМП, однако приводит к снижению устойчивости пены. Это связано с процессом реструктуризации надмолекулярной структуры воды под действием ПЧМС, что приводит к снижению поверхностного натяжения дисперсионной среды [6–8].

Однако данный процесс компенсируется введением гидрофильных минерализаторов, создающих дополнительный структурный барьер, запускающий эффект перераспределения ПАВ вдоль градиента поверхностного натяжения, выравнивающий толщину пенных пленок и снижающий скорость их разрыва. Гидрофобный ОУ-А дестабилизирует пену: его частицы, расположенные на межфазной границе, инициируют процесс коалесценции пузырьков пены и ускоряют процесс разрушения структуры.

Результаты экспериментов по определению влияния отрицательных температур на устойчивость воздушно-механической пены представлены в табл. 2.

Из табл. 2 видно, что электрофизическая обработка не оказывает самостоятельного влияния на кинетику замерзания ни в одном из составов. Определяющим фактором является химическая природа поверхности минерализатора.

Исходя из полученных результатов, можно сделать заключение, что отрицательные температуры негативно сказываются на устойчивости ВМП. При температуре -15 °С устойчивость контрольного образца ВМП сократилась до 270 с, что составляет ~38 % от показателя устойчивости ВМП при нормальных условиях.

Таблица 1. Влияние ЭФО и минерализации на тактико-технические характеристики воздушно-механической пены

№ п/п	рецептура	кратность	кратность (ЭФО)	устойчивость, с	устойчивость (ЭФО), с
1.	H ₂ O + ПО-3	3,25	5,00	900	700
2.	H ₂ O + ПО-3 + SiO ₂	4,00	4,50	1080	980
3.	H ₂ O + ПО-3 + ОУ-А	3,20	3,50	750	570
4.	H ₂ O + ПО-3 + ОУ-Б	5,00	6,00	1000	830
5.	H ₂ O + ПО-3 + КСМГ	3,80	4,20	1020	920

Таблица 2. Влияние отрицательных температур на время замерзания воздушно-механической пены

№ п/п	Рецептура	-5 °С, с	-5 °С (ЭФО), с	-10 °С, с	-10 °С (ЭФО), с	-15 °С, с	-15 °С (ЭФО), с
1.	H ₂ O + ПО-3	500	500	380	380	270	270
2.	H ₂ O + ПО-3 + SiO ₂	715	715	560	560	450	450
3.	H ₂ O + ПО-3 + ОУ-А	470	470	350	350	255	255
4.	H ₂ O + ПО-3 + ОУ-Б	630	630	450	450	330	330
5.	H ₂ O + ПО-3 + КСМГ	680	680	500	500	380	380

Гидрофильные минерализаторы, в свою очередь демонстрируют положительную динамику относительно контрольного образца. Физический механизм связан с адсорбцией частиц на зародышах кристаллов льда, ингибирующей рост кристаллической решётки [9–10].

Гидрофобный ОУ-А, несмотря на снижение кинетики замерзания пены, ввиду своего деструктивного влияния на её устойчивость, показывает наименьшее время замерзания пены при отрицательных температурах (-6 % от времени замерзания, относительно показателя контрольного образца).

Самым эффективным минерализатором в рамках серии экспериментов признан маршалит SiO₂. ВМП усиленная данным минерализатором демонстрирует наибольшую устойчивость как при нормальных условиях (1080 с.), так и наименьшую скорость замерзания среди всех прочих образцов.

Натурные испытания проводились при среднесуточной температуре воздуха от -18 до -26 °С, относительной влажности 80–90 % и скорости ветра 2–5 м/с. Раствор пенообразователя перед подачей в СВПЭ-2 нагревался до +3...+5 °С. Результаты испытаний представлены в табл. 3.

Таблица 3. Результаты натурных испытаний тушения очага пожара класса В

№ п/п	Рецептура	Время тушения, с	Δ к контролю, %	Устойчивость пенной пленки после тушения, мин
1.	H ₂ O + ПО-3	87	-	10–12
2.	H ₂ O (ЭФО) + ПО-3	72	-18	8–10
3.	H ₂ O + ПО-3 + SiO ₂	65	-26	16–18
4.	H ₂ O (ЭФО) + ПО-3 + SiO ₂	58	-34	14–16
5.	H ₂ O + ПО-3 + ОУ-А	95	+9	7–10
6.	H ₂ O (ЭФО) + ПО-3 + ОУ-А	84	-4	6–8
7.	H ₂ O + ПО-3 + ОУ-Б	71	-19	15–17
8.	H ₂ O (ЭФО) + ПО-3 + ОУ-Б	65	-25	12–14
9.	H ₂ O + ПО-3 + КСМГ	68	-22	15–17
10.	H ₂ O (ЭФО) + ПО-3 + КСМГ	60	-32	13–15

После анализа результатов натурных испытаний можно отметить, что модификация дисперсной среды как реагентными (минерализаторы), так и безреагентными методами (ЭФО) обеспечивает выраженный тактический эффект при тушении очагов пожара класса В в условиях низких температур. Электрофизическая обработка воды в большинстве рецептов приводит к сокращению времени тушения на 18–34 % по

отношению к контрольному составу без ухудшения, а в ряде случаев и с улучшением устойчивости пенной пленки после ликвидации горения.

Наиболее высокий комплексный эффект продемонстрировали рецептуры, содержащие гидрофильные минерализаторы маршалит SiO₂ и силикагель КСМГ: для них достигается максимальное снижение времени тушения

при одновременном увеличении длительности сохранения пенного слоя на поверхности горючего по сравнению с контрольным вариантом. Гидрофобный минерализатор ОУ-А, напротив, характеризуется увеличением времени тушения и снижением устойчивости пенной пленки, что согласуется с ранее выявленным деструктивным влиянием данного модификатора на устойчивость ВМП в лабораторных условиях.

Сопоставление лабораторных и натуральных данных позволяет сделать вывод о сохранности установленных закономерностей при переходе от модельных испытаний к реальным условиям Арктического региона: гидрофильные минерализаторы совместно с ЭФО дисперсной среды обеспечивают повышение огнетушащей эффективности и устойчивости воздушно-механической пены при отрицательных температурах. Это подтверждает целесообразность использования комбинированной модификации ВМП (ЭФО + гидрофильные минерализаторы) в практике тушения пожаров на объектах хранения и транспортировки нефти и нефтепродуктов в северных широтах.

Выводы

По результатам проведенных лабораторных и натуральных исследований установлено, что экстремально низкие температуры арктического региона приводят к существенному снижению кратности и устойчивости воздушно-механической пены, а также к ускорению её замерзания, что ограничивает эффективность традиционных пенообразующих составов при тушении пожаров классов А и В. Это подтверждает необходимость целенаправленной модификации дисперсной среды ВМП с учётом специфики северных климатических условий.

Показано, что электрофизическая обработка воды обеспечивает увеличение кратности пены при умеренном снижении её устойчивости, не влияя при этом на кинетику замерзания, то есть выступает инструментом управления структурой пенной системы без изменения температурной чувствительности. Введение гидрофильных минерализаторов (маршалит SiO_2 , силикагель КСМГ) позволяет

компенсировать снижение устойчивости, вызванное ЭФО, повышая стойкость пены и замедляя её замерзание на 5–10 % по сравнению с немодифицированным составом.

Гидрофобный минерализатор ОУ-А продемонстрировал деструктивное влияние на пенную структуру: при лабораторных и натуральных испытаниях зафиксировано снижение устойчивости ВМП и увеличение времени тушения очага пожара, несмотря на небольшое уменьшение времени замерзания. Тем самым подтверждается, что использование минерализаторов с гидрофобной поверхностью в качестве модификаторов ВМП для арктических условий нецелесообразно.

Натурные огневые испытания при температурах воздуха от -18 до -26 °C показали, что сочетание электрофизической обработки воды с гидрофильными минерализаторами обеспечивает сокращение времени тушения очага пожара класса В до 32–34 % относительно контрольной рецептуры и увеличение длительности существования пенной плёнки на поверхности горючего. Наиболее эффективным модификатором признан маршалит SiO_2 , обеспечивающий максимум устойчивости пены в нормальных условиях и наименьшую скорость её замерзания при отрицательных температурах.

В целом результаты работы демонстрируют принципиальную возможность и практическую значимость использования комбинированной модификации ВМП (электрофизическая обработка дисперсной среды и введение гидрофильных минерализаторов) для повышения огнетушащей эффективности и надёжности пенных технологий в арктических условиях. Отмеченный синергетический эффект совместного применения минерализации и электрофизической обработки позволяет рассматривать такую комбинированную технологию как перспективное направление совершенствования рецептур пенообразователей для объектов хранения и транспортировки нефти и нефтепродуктов в северных широтах.

Список литературы

1. Волик А. С., Квашнин А. В., Ивахнюк Г. К. Влияние электрического поля на огнетушащие свойства воздушно-механической пены // Проблемы управления рисками в технике. 2020. № 3 (55). С. 103–107. EDN: BZSSAC.
2. Арзаев Н. А. Методики реагентной и безреагентной модификации дисперсной

среды, обеспечивающие повышенную огнетушащую способность и стабильность газонаполненных компрессионных пен // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2026. № 1. С. 194–203. DOI: <https://doi.org/10.34987/2500-4026-2026-1-194-203>

3. Kumar A., Singh R., Sharma P. Role of hydrophilic and hydrophobic nanoparticles in foam-based fire suppression systems. Fire Technology,

2022, vol. 58 (4), pp. 1567–1584. DOI: 10.1007/s10694-022-01245-z

4. Миронов В. Л., Климов А. В. Электрофизические методы воздействия на водные растворы ПАВ // Коллоидный журнал. 2022. Т. 84 (3). С. 312–320. DOI: 10.31857/S002329442203009X

5. Исследование новых высокоэффективных реагентов для пенного дренажа газовых скважин (обзор) / Y. Q. Sun, Y. P. Zhang, Q. W. Liu [et al.] // Нефтехимия. 2023. Т. 63, № 5. С. 745–759. DOI: 10.31857/S002824212305012X. EDN: SAIXJO.

6. Электрофизические и нанохимические инновации в обеспечении энерго- ресурсосбережения, промышленной и экологической безопасности / Д. С. Азимов, С. В. Колесников, Г. К. Ивахнюк [и др.] // Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета). 2018. № 46 (72). С. 120–122. EDN: YTDYDR.

7. Алексеик Е. Б., Савенкова А. Е., Геммиш З. Влияние переменных электрических полей на процессы создания и стабилизации воздушно-механических пен // Научно-аналитический журнал «Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России». 2013. № 4. С. 44–48. EDN: RSMACZ.

8. Analysis on the effects of high expansion foam on evaporation rate of the LNG 2nd ed. Elsevier Inc. / X. Guo, C. Ye, X. Liang [et al.]. 2021, 137 p.

9. Арзаев Н. А., Ивахнюк Г. К. Влияние реагентной и безреагентной модификации дисперсной среды и химических свойств поверхности минерализаторов на пожарно-технические характеристики воздушно-механических пен // Научно-аналитический журнал «Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России». 2025. № 4. С. 14–22. DOI: 10.61260/2218-130X-2025-4-14-22. EDN: MLGUOG.

10. Mechanical properties of two-stage concrete modified by silica fume / H. S. Abdelgader, R. S. Fediuk, M. Kurpinska [et al.]. Magazine of Civil Engineering, 2019. vol. 5 (89), pp. 26–38. DOI: 10.18720/MCE.89.3. EDN: ATOSCY.

References

1. Volik A. S., Kvashnin A. V., Ivakhnyuk G. K. Vliyanie elektricheskogo polya na ognnetushashhie svoystva vozdušno-mekhanicheskoy peny [The influence of an electric field on the extinguishing properties of air-mechanical foam]. *Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere*, 2020, vol. 3 (55), pp. 103–107. EDN: BZSSAC.

2. Arzaev N. A. Metodiki reagentnoj i bezreagentnoj modifikacii dispersnoj sredy, obespechivayushhie povyshennuyu ognnetushashuju sposobnost' i stabil'nost' gazonapolnennykh kompressionnykh pen [Methods of reagent and non-reagent modification of a dispersed medium, providing increased fire extinguishing ability and stability of gas-filled compression foams]. *Sibirskij požarno-spatatel'nyj vestnik*, 2026, issue 1, pp. 194–203. DOI: <https://doi.org/10.34987/2500-4026-2026-1-194-203>

3. Kumar A., Singh R., Sharma P. Role of hydrophilic and hydrophobic nanoparticles in foam-based fire suppression systems. *Fire Technology*, 2022, vol. 58(4), pp. 1567–1584. DOI: 10.1007/s10694-022-01245-z

4. Mironov V. L., Klimov A. V. Elektrofizicheskie metody vozdejstviya na vodnye rastvory PAV [Electrophysical methods of exposure to aqueous surfactant solutions]. *Kolloidnyj zhurnal*, 2022, vol. 84 (3), pp. 312–320. DOI: 10.31857/S002329442203009X

5. Issledovanie novyh vysokoeffektivnykh reagentov dlya pennogo drenazha gazovykh skvazhin (obzor) [Investigation of new highly effective reagents for foam drainage of gas wells (review)]. / Y. Q. Sun, Y. P. Zhang, Q. W. Liu [et al.] *Nefteximiya*, 2023, vol. 63, issue 5, pp. 745–759. DOI: 10.31857/S002824212305012X. EDN: SAIXJO.

6. Elektrofizicheskie i nanokhimicheskie innovacii v obespechenii energo- resursosberezheniya, promyshlennoj i ekologicheskoy bezopasnosti [Electrophysical and nanochemical innovations in ensuring energy and resource conservation, industrial and environmental safety] / D. S. Azimov, S. V. Kolesnikov, G. K. Ivakhnyuk [et al.]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo instituta (tekhnicheskogo universiteta)*, 2018, vol. 46 (72), pp. 120–122. EDN: YTDYDR.

7. Alekseik E. B., Savenkova A. E., Gemish Z. Vliyanie peremennykh elektricheskikh polej na processy sozdaniya i stabilizacii vozdušno-mekhanicheskikh pen [The influence of alternating electric fields on the processes of creating and stabilizing air-mechanical foams]. *Nauchno-analiticheskij zhurnal «Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta Gosudarstvennoj protivopozharnoj sluzhby MCHS Rossii»*, 2013, issue 4, pp. 44–48. EDN: RSMACZ.

8. Analysis on the effects of high expansion foam on evaporation rate of the LNG 2nd ed. Elsevier Inc. / X. Guo, C. Ye, X. Liang [et al.]. 2021, 137 p.

9. Arzaev N. A., Ivakhnyuk G. K. Vliyanie reagentnoj i bezreagentnoj modifikacii dispersnoj sredy i khimicheskikh svoystv poverkhnosti mineralizatorov na požarno-tekhnicheskie

kharakteristiki vozdušno-mekhanicheskikh pen [The influence of reagent and non-reagent modification of a dispersed medium and chemical properties of the surface of mineralizers on the fire-technical characteristics of air-mechanical foams]. *Nauchno-analiticheskij zhurnal «Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta Gosudarstvennoj protivopozharnoj sluzhby MCHS Rossii»*, 2025,

issue 4, pp. 14–22. DOI: 10.61260/2218-130X-2025-4-14-22. EDN MLGUOG.

10. Mechanical properties of two-stage concrete modified by silica fume / H. S. Abdelgader, R. S. Fediuk, M. Kurpinska [et al.]. *Magazine of Civil Engineering*, 2019. vol. 5 (89), pp. 26–38. DOI: 10.18720/MCE.89.3. EDN: ATOSCY.

Арзаев Никита Анатольевич

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Санкт-Петербург
адъюнкт адъюнктуры, преподаватель кафедры ПБТПП
E-mail: n.arzaef@yandex.ru
ORCID: 0009-0004-9179-5087
SPIN: 5765-9936

Arzaev Nikita Anatolyevich

Saint Petersburg University of the Ministry of Emergency Situations of Russia,
Russian Federation, Saint Petersburg
adjunct of post-graduate courses, lecturer
E-mail: n.arzaef@yandex.ru
ORCID: 0009-0004-9179-5087
SPIN: 5765-9936

Ивахнюк Григорий Константинович

Санкт-Петербургский государственный технологический институт,
Российская Федерация, г. Санкт-Петербург
Доктор химических наук, профессор, заведующий кафедрой «Инженерной защиты окружающей среды»
E-mail: fireside@inbox.ru
ORCID: 0000-0003-2556-303X
SPIN: 1985-9518
Author ID: 521920

Ivakhnyuk Grigory Konstantinovich

Saint Petersburg State Technological Institute,
Russian Federation, Saint Petersburg
Doctor of Chemical Sciences, Professor, Head of the Department of Environmental Protection Engineering
E-mail: fireside@inbox.ru
ORCID: 0000-0003-2556-303X
SPIN: 1985-9518
Author ID: 521920