

Научная статья

УДК 614.84; DOI: 10.61260/1998-8990-2026-2-102-111

РАЗРАБОТКА МОДУЛЬНОГО ПЕНОГЕНЕРАТОРА С РЕГУЛИРУЕМЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

Хафизов Ильдар Фанилевич;

Попова Елена Викторовна;

✉ Сафаргалин Айдар Расихович.

Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа, Россия

✉ playtostory@gmail.com

Аннотация. Разработана конструкция модульного пеногенератора с регулируемой геометрией диспергирующих элементов. Экспериментально установлена оптимальная ромбовидная конфигурация из шести элементов, демонстрирующая рекордный прирост высоты пенного столба – 225 % относительно контрольных образцов. Полученные данные обосновывают перспективность технологии для целенаправленной адаптации ключевых эксплуатационных характеристик пены.

Целью исследования являлось создание модульного пеногенератора с регулируемыми параметрами, способного адаптировать характеристики огнетушащей пены к конкретным условиям пожара и заменить устаревшие стационарные конструкции. Для получения результатов исследования применялся комплексный экспериментальный подход с использованием методов 3D-прототипирования и стандартизированных испытаний.

Полученные данные в ходе исследования демонстрируют рекордное увеличение высоты пенного столба на 225 % при использовании оптимальной ромбовидной конфигурации из шести диспергирующих элементов. Проведенные исследования открывают широкие перспективы для внедрения разработанного пеногенератора в системах пожаротушения резервуарных парков и других объектов с повышенной пожарной опасностью, способствуя повышению эффективности тушения горючих жидкостей и обеспечению промышленной безопасности.

Ключевые слова: пеногенератор, кратность пены, пожаротушение, горючие жидкости, модульная конструкция, 3D-печать, диспергирующие элементы

Для цитирования: Хафизов И.Ф., Попова Е.В., Сафаргалин А.Р. Разработка модульного пеногенератора с регулируемыми параметрами // Проблемы управления рисками в техносфере. 2026. № 2 (78). С. 102–111. DOI: 10.61260/1998-8990-2026-2-102-111

Scientific article

**DEVELOPMENT OF A MODULAR FOAM GENERATOR
WITH ADJUSTABLE PARAMETERS****Hafizov Ildar F.;****Popova Elena V.;****✉Safargalin Aidar R.****Ufa state petroleum technological university, Ufa, Russia****✉playtostory@gmail.com**

Abstract. The design of a modular foam generator with an adjustable geometry of dispersing elements has been developed. An optimal diamond-shaped configuration of six elements has been experimentally established, demonstrating a record increase in the height of the foam column by 225 % relative to the control samples. The data obtained substantiate the prospects of the technology for purposefully adapting the key performance characteristics of foam when extinguishing various classes of flammable liquids.

The aim of the study was to create a modular foam generator with adjustable parameters, capable of adapting the characteristics of fire extinguishing foam to specific fire conditions and replacing outdated stationary structures. To obtain the results of the study, a comprehensive experimental approach was applied using 3D-prototyping and standardized testing methods.

The data obtained during the study demonstrate a record increase in the height of the foam column by 225 % when using the optimal diamond-shaped configuration of six dispersing elements. The conducted research opens up broad prospects for the implementation of the developed foam generator in fire extinguishing systems of tank farms and other facilities with increased fire risk, contributing to an increase in the efficiency of extinguishing flammable liquids and ensuring industrial safety.

Keywords: foam generator, foam ratio, fire extinguishing, flammable liquids, modular design, 3D-printing, dispersing elements

For citation: Hafizov I.F., Popova E.V., Safargalin A.R. Development of a modular foam generator with adjustable parameters // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2026. № 2 (78). P. 102–111. DOI: 10.61260/1998-8990-2026-2-102-111

Введение

Современные системы пожаротушения требуют оптимизации параметров огнетушащей пены в зависимости от конкретных условий пожара [1, 2]. Как отмечено в фундаментальных работах, ключевыми эксплуатационными характеристиками пены, определяющими эффективность тушения, являются ее кратность и стабильность [3]. Существующие пеногенераторы стационарной конструкции не всегда позволяют оперативно регулировать дисперсность и кратность пены, что приводит к снижению эффективности тушения [4]. Жесткость конструкции таких генераторов делает их непригодными для быстро меняющейся обстановки на пожаре, когда тип горящего вещества, площадь возгорания и температурный режим диктуют необходимость применения пены с различными реологическими показателями.

Объектом настоящего исследования выступает резервуарный парк, где проблема приобретает особую актуальность при тушении горючих жидкостей, поскольку требования к параметрам пены значительно варьируются в зависимости от физико-химических свойств горящей жидкости [5]. Например, для тушения легковоспламеняющихся жидкостей с низкой температурой вспышки (бензин, эфиры) требуется пена с высокой кратностью и быстрой растекаемостью для создания изолирующего слоя. В то же время для тушения нефти и мазута,

обладающих высокой температурой кипения и склонностью к повторному возгоранию, необходима более стабильная и тяжелая пенная структура с повышенной теплоемкостью. Особенностью тушения различных классов горючих веществ является необходимость применения пены с определенными характеристиками, что обусловлено различиями в скорости горения, температуре вспышки и других параметрах.

Актуальность разработки модульного пеногенератора обусловлена возможностью замены парка устаревших стационарных генераторов на меньшее количество универсальных модульных устройств. Под универсальностью понимается использование одного базового корпуса со сменными кассетами для получения пены с различными характеристиками (кратностью, дисперсностью) в зависимости от условий пожара. Существующие пеногенераторы, применяемые для тушения горючих жидкостей, можно разделить на несколько типов по принципу действия: сетчатые, турбинные, спиральные, перегородочные, эжекторные. Сетчатые генераторы наиболее широко используются в системах пожаротушения ограниченных пространств благодаря высокой кратности пены и простоте конструкции. Однако большинство известных решений (как отечественных, так и зарубежных) не обеспечивают оперативной регулировки параметров пены в зависимости от класса горючего вещества, что снижает их эффективность при тушении различных горючих жидкостей. В зарубежных исследованиях, в частности в работе [6], были детально изучены влияние количества и типа сеток, геометрии выпрямителя потока, расстояния между соплом и сеткой на кратность, дальность струи и толщину слоя пены. Тем не менее влияние ромбовидной конфигурации сетчатых элементов в модульном исполнении с возможностью быстрой замены кассет оставалось неизученным, что и определило направление настоящей работы. В отличие от известных работ, в которых изучались преимущественно квадратные и прямоугольные сетки с фиксированным расположением, в данной работе впервые системно исследовано влияние ромбовидной конфигурации последовательно расположенных сетчатых элементов в едином модульном корпусе на высоту пенного столба. Установлены оптимальные параметры (ромбовидная сетка, 6 слоёв, размер ячейки 2 мм), обеспечивающие прирост высоты пены на 225 % по сравнению с квадратной сеткой. Полученные данные дополняют результаты зарубежных исследований, в которых основное внимание уделялось кратности и дальности пены, новыми сведениями о влиянии геометрии ячейки на статическую высоту столба.

Научная новизна работы заключается в экспериментальном установлении количественных зависимостей между ключевыми параметрами пены и конструкцией разработанного модульного генератора. Выявлен и объяснен экстремальный характер зависимости эффективности пенообразования от количества диспергирующих элементов. В отличие от известных исследований [6] в данной работе впервые системно исследовано влияние не только геометрии, но и компоновки нескольких последовательно расположенных сетчатых элементов в едином корпусе на конечные характеристики пенного потока. Полученные количественные зависимости создают предпосылки для перехода к более обоснованному расчётному проектированию пеногенерирующих устройств, дополняя существующие эмпирические методы.

Методы исследования

Для исследований влияния зависимости между параметрами и конструкцией ствола применялся водный раствор пенообразователя ПО-6, соответствующий требованиям, предъявляемым к тушению горючих жидкостей. Выбор данного пенообразователя обусловлен его стабильными характеристиками и широким применением в отечественных системах пожаротушения, что обеспечивает сопоставимость результатов с существующими аналогами.

Приготовление рабочего раствора пенообразователя выполнялось в соответствии с рекомендациями [7]. Определение кратности пены в данной работе не проводилось; для сравнения пенообразующей способности различных конфигураций использовалась высота пенного столба при фиксированном объёме раствора.

Для обеспечения статистической достоверности результатов и исключения возникновения случайных погрешностей каждый эксперимент был проделан не менее 3 раз. Такой подход позволил получить усредненные значения, минимизирующие влияние случайных факторов на конечный результат измерений.

Для проведения эксперимента был применен экземпляр модульного ствола, представляющий собой конструкцию с возможностью оперативного изменения конфигурации диспергирующих элементов. Модульная конструкция пеногенератора со сменными сетчатыми кассетами изготовлена методом аддитивных технологий, что обеспечило необходимую точность выполнения геометрических параметров.

Конструкция была разработана в Blender – программном обеспечении, позволяющем создавать сложные трехмерные модели с высокой точностью. Ключевым проектных решением являлась унификация посадочных мест для быстрой оперативной смены кассет с сетчатыми элементами, что обеспечивало возможность оперативного изменения параметров пенообразования в ходе эксперимента.

Для изготовления использовалась технология FDM-печати на 3D-принтере Creality Ender 3. В качестве материала выбран полилактид (PLA). Выбор материала обусловлен его химической стойкостью к растворам пенообразователя, достаточной прочностью и низкой усадкой при печати [6]. Согласно технической документации, предел прочности PLA при растяжении (при 100 % заполнении) составляет 50–60 МПа, что более чем в 100 раз превышает рабочее давление в системе (0,4 МПа). Запас прочности по разрушающему давлению составляет не менее 125 раз. В ходе испытаний лабораторного макета при давлении 0,4 МПа в течение 10 мин конструкция не разрушилась и не деформировалась. Однако PLA подвержен ползучести при длительных статических нагрузках и имеет температуру стеклования около 60 °С, поэтому данная конструкция предназначена только для лабораторных исследований и кратковременных испытаний. Для промышленных образцов, эксплуатируемых в реальных условиях, необходимы материалы с более высокой термостойкостью и устойчивостью к ползучести (ABS, полиамид, металл).



Рис. 1. Экспериментальный пожарный ствол

Задачей эксперимента было проанализировать зависимость геометрии сеток пеногенератора на высоту пенного столба. В качестве насадок применялись сетки ромбовидной, квадратной и прямоугольной конфигурации с размером ячейки 1, 2, 3 мм. Количество сетчатых элементов в кассете варьировалось: 2, 4, 6 и 8 элементов. Такой диапазон вариаций параметров позволил получить репрезентативные данные о влиянии геометрии и количества диспергирующих элементов на процесс пенообразования. Высоту пенного столба измеряли в статическом состоянии через 10 с после прекращения подачи раствора. Измерение проводилось в цилиндрической калиброванной ёмкости диаметром 380 мм и высотой 590 мм, установленной вертикально. После прекращения подачи раствора выдерживалась пауза 10 с для стабилизации пенной структуры. Высота пенного слоя фиксировалась по линейке, закреплённой вертикально на стенке ёмкости, с точностью до 1 мм. Измерение выполнялось в трёх точках по окружности ёмкости (0°, 120°, 240°) для учёта возможной неравномерности поверхности; за итоговое значение принималось среднее арифметическое.



Рис. 2. Контроль подачи раствора пенообразователя прибором измерения давления

Контроль давления на входе в пеногенератор измерялся манометром с одновитковой трубчатой пружиной, класс точности 1.0. По условиям эксперимента данный параметр контроля на входе поддерживался постоянным и составлял 0,4 МПа. Стабилизация давления обеспечивала воспроизводимость условий эксперимента при тестировании различных конфигураций диспергирующих элементов.

Результаты и их обсуждение

В ходе проведенных испытаний экспериментально установлено существенное влияние количества и типа сетчатых элементов на высоту столба пены, что является одним из ключевых показателей эффективности пожаротушения. Проведенный комплекс экспериментов позволил получить воспроизводимые результаты, подтверждающие наличие выраженной зависимости между геометрическими параметрами диспергирующих элементов и реологическими характеристиками формируемой пенной структуры.

Таблица 1

Зависимость высоты пенного столба от типа и количества сеток

Тип сетки	Количество сеток	Высота пены (см)
Ромбовидная	2	3
	4	4
	6	13
	8	18
Прямоугольная	2	3
	4	4
	6	14
	8	3
Квадратная	2	3
	4	3
	6	4
	8	5

Сравнение полученных данных с результатами зарубежных исследований показывает, что оптимальное количество сетчатых элементов (6) и рекомендуемое расстояние между соплом и сеткой (в нашей конструкции оно соответствует геометрии модульной кассеты) согласуются с выводами, которые установили, что максимальная кратность (42) достигается при двух слоях сетки из 16 ячеек ($\approx 1,2$ мм) и расстоянии 22 см. В нашей работе ромбовидная сетка с ячейкой 2 мм в шестислойном исполнении даёт прирост высоты пены 225 %

относительно квадратной, что свидетельствует о высокой эффективности выбранной геометрии. При этом в отличие от работы [6], где измерялись кратность и дальность струи, в настоящем исследовании акцент сделан на высоте пенного столба, что позволяет оценить пенообразующую способность в статике и облегчить сравнение различных конфигураций на ранних этапах разработки.

Анализ данных табл. 1 показывает сложный нелинейный характер зависимости высоты пенного столба от количества диспергирующих элементов. Наблюдаемые экспериментальные данные демонстрируют различное поведение пенообразующих систем в зависимости от геометрии сеток и их количества в кассете. Полученные значения высоты пенного столба варьируются в широком диапазоне от 3 до 18 см, что свидетельствует о существенном влиянии исследованных параметров на эффективность пенообразования. Следует отметить, что в настоящей работе помимо высоты пенного столба определена устойчивость пены (время дренажа 50 %).



Рис. 3. Внешний вид пены

Визуальная оценка пенной структуры показала, что применение ромбовидной конфигурации сетчатых элементов (6 слоёв, размер ячейки 2 мм) приводит к образованию более высокопористой пены по сравнению с квадратной и прямоугольной сетками. Количественные данные о дисперсном составе (средний диаметр, распределение) будут получены в дальнейшем с использованием микроскопии.

Огневые испытания разработанного пеногенератора также не проводились. Эти характеристики и проверка эффективности при тушении реальных очагов пожара являются предметом дальнейших исследований.

Для выбранной оптимальной конфигурации (ромбовидная сетка, 6 элементов, размер ячейки 2 мм) была определена стойкость пены (время дренажа 50 %) по методике ГОСТ Р 50588–2012 «Пенообразователи для тушения пожаров. Общие технические требования и методы испытаний». Результаты приведены в табл. 2. Исследование стойкости для других конфигураций сеток не проводилось.

Таблица 2

Время разрушения пены (стойкость) – время дренажа 50 % жидкой фазы (t_{50})

Устойчивость пены (время дренажа 50 %), с, не менее	Значение	Норматив (ГОСТ Р 50588–2012), не менее
Низкой кратности	243	160
Средней кратности	349	160
Высокой кратности	163	160

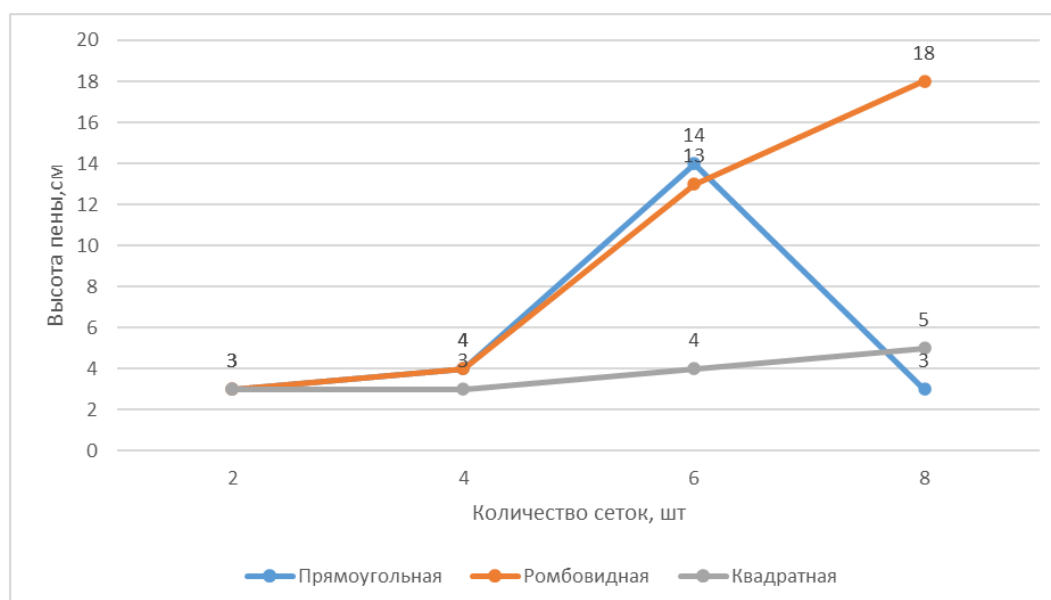


Рис. 3. Сравнительная эффективность различных типов сеток

На рис. 3 представлена сравнительная характеристика эффективности применения пеногенерирующего устройства с различными конфигурациями сеток. Визуальный анализ графиков подтверждает наличие оптимальных зон эффективности для каждого типа сетчатых элементов.

Анализ данных показал, что конфигурация с шестью ромбовидными сетчатыми элементами обеспечивает наиболее стабильные и воспроизводимые результаты формирования пенной структуры. При использовании шести ромбовидных сеток высота пены составила 13 см, что на 225 % выше, чем у квадратной (4 см). Прямоугольная сетка с шестью элементами показала близкое значение (14 см), однако при восьми элементах её эффективность резко падает до 3 см, тогда как ромбовидная продолжает расти до 18 см, демонстрируя преимущество ромбовидной сетки. Полученные численные значения демонстрируют значительный потенциал оптимизации параметров пеногенерирующих устройств.

Наблюдаемый рост эффективности при увеличении числа сеток с 2 до 6 связан с более эффективным диспергированием воздушного потока и многократным дроблением пузырей, что приводит к формированию более однородной мелкопористой структуры [9, 10]. Механизм многократного диспергирования потока через последовательно расположенные сетчатые элементы создает условия для формирования устойчивой пенной структуры с улучшенными характеристиками.

Следует отметить, что дальнейшее увеличение количества сеток до 8 для прямоугольной конфигурации приводит к резкому падению высоты пены. Это объясняется чрезмерным ростом гидравлического сопротивления и нарушением оптимального режима течения газа и жидкости [11]. Наблюдаемый эффект демонстрирует важность соблюдения баланса между количеством диспергирующих элементов и создаваемым ими гидравлическим сопротивлением.

Преимущество ромбовидной сетки перед квадратной и прямоугольной может быть обусловлено особенностями создания турбулентности в потоке, способствующей более интенсивному пенообразованию без быстрого разрушения пенной структуры [12]. Геометрические особенности ромбовидных ячеек создают более благоприятные условия для формирования и стабилизации пенных пузырей по сравнению с другими исследованными конфигурациями.

Заключение

Разработанная конструкция модульного лабораторного пеногенератора позволила оперативно изменять параметры диспергирующего блока, что подтвердило принципиальную осуществимость концепции регулируемого пожаротушения. Проведенные эксперименты не только продемонстрировали работоспособность устройства, но и позволили получить количественные зависимости, являющиеся основой для инженерного расчета подобных систем.

Экспериментально установлено, что высота пенного столба зависит от количества сеток, причём наблюдается чётко выраженный максимум при 6 элементах для ромбовидной и прямоугольной конфигураций. Выявлено, что ромбовидная сетка с размером ячейки 2 мм является оптимальной, обеспечивая на ~225 % большую высоту столба пены по сравнению с квадратной сеткой при том же количестве сеток. Было обнаружено и объяснено явление резкого снижения эффективности при превышении оптимального количества диспергирующих элементов (8 сеток для прямоугольной конфигурации), что связано с ростом гидравлических потерь.

Показана принципиальная возможность оперативной адаптации параметров пены путем смены конфигурации пеногенерирующего устройства. Это открывает путь к созданию гибких систем пожаротушения, где в зависимости от требуемых характеристик пены может быть выбрана соответствующая кассета с диспергирующими элементами.

Список источников

1. Шебеко Ю.Н., Шебеко А.Ю., Зайцев А.В. Пенное пожаротушение: новые возможности // Пожарная безопасность. 2021. Т. 120. С. 103020. DOI: 10.1016/j.firesaf.2020.103020
2. Урал Э.А. Обзор систем пенного тушения пожаров горючих жидкостей // Прогресс в области безопасности процессов. 2018. Т. 37. Вып. 1. С. 56–67. DOI: 10.1002/prs.11901
3. Heskestad G., Sutula R. Foam Agents and AFFF System Design // SFPE Handbook of Fire Protection Engineering. 5th Edition. N.Y.: Springer, 2016. P. 1124–1164.
4. Молина Ф.Т., Эспиноса Ф.П., Муньос Ф.Б. Экспериментальное исследование распространения и тушения пены при горении жидкостей // Профилактика потерь в технологических процессах. 2020. Т. 66. С. 104187. DOI: 10.1016/j.jlp.2020.104187
5. Перссон Б., Лённермарк А. Пена как средство тушения пожаров горючих жидкостей // Проект Брандфорск. 2019. С. 1–48.
6. Study on the foam production characteristics of air self-suction foam generator by jet / C. Lu [et al.] // Scientific Reports. 2024. Vol. 14. DOI: 10.21203/rs.3.rs-4804887/v1
7. Хафизов И.Ф. Современные средства и технологии пожаротушения. М.: Стройиздат, 2018. 256 с.
8. Перспективные огнетушащие составы и технологии пожаротушения: сб. науч. тр. / под ред. А.М. Батаева. М.: Академия ГПС МЧС России, 2019. 210 с.
9. Кошмаров Ю.А., Молчанов А.В. Исследование кратности и стойкости огнетушащих пен на основе новых пенообразователей // Пожаровзрывобезопасность. 2020. Т. 29. № 4. С. 45–53. DOI: 10.18322/PVB.2020.29.04.45-53
10. Гончарук В.М., Андрианов А.П. Современные тенденции развития пожарной техники для тушения нефтепродуктов // Вестник Казанского технологического университета. 2019. Т. 12. № 2. С. 112–115.
11. Смирнов Н.Н., Бариев Р.Ш., Нигматулин Р.И. О гидродинамике пенного потока при тушении пожаров // Доклады Академии наук. 2021. Т. 496. № 1. С. 56–61. DOI: 10.31857/S2686743721010156

12. Артемьев В.Б., Грабовский А.С. Модульный принцип построения технических средств пожаротушения // Технологии техносферной безопасности. 2018. Вып. 2 (78). С. 23–29.

References

1. Shebeko Yu.N., Shebeko A.Yu., Zajcev A.V. Pennoe pozharotushenie: novye vozmozhnosti // Pozharnaya bezopasnost'. 2021. T. 120. S. 103020. DOI: 10.1016/j.firesaf.2020.103020
2. Ural E.A. Obzor sistem pennogo tusheniya pozharov goryuchih zhidkostej // Progress v oblasti bezopasnosti processov. 2018. T. 37. Vyp. 1. S. 56–67. DOI: 10.1002/prs.11901
3. Heskestad G., Sutula R. Foam Agents and AFFF System Design // SFPE Handbook of Fire Protection Engineering. 5th Edition. N.Y.: Springer, 2016. P. 1124–1164.
4. Molina F.T., Espinosa F.P., Mun'os F.B. Eksperimental'noe issledovanie rasprostraneniya i tusheniya peny pri gorenii zhidkostej // Profilaktika poter' v tekhnologicheskikh processah. 2020. T. 66. S. 104187. DOI: 10.1016/j.jlp.2020.104187
5. Persson B., Lyonnermark A. Pena kak sredstvo tusheniya pozharov goryuchih zhidkostej // Proekt Brandforsk. 2019. S. 1–48.
6. Study on the foam production characteristics of air self-suction foam generator by jet / C. Lu [et al.] // Scientific Reports. 2024. Vol. 14. DOI: 10.21203/rs.3.rs-4804887/v1
7. Hafizov I.F. Sovremennye sredstva i tekhnologii pozharotusheniya. M.: Strojizdat, 2018. 256 s.
8. Perspektivnye ognetushashchie sostavy i tekhnologii pozharotusheniya: sb. nauch. tr. / pod red. A.M. Bataeva. M.: Akademiya GPS MCHS Rossii, 2019. 210 s.
9. Koshmarov Yu.A., Molchanov A.V. Issledovanie kratnosti i stojkosti ognetushashchih pen na osnove novyh penoobrazovatelej // Pozharovzryvbezopasnost'. 2020. T. 29. № 4. S. 45–53. DOI: 10.18322/PVB.2020.29.04.45-53
10. Goncharuk V.M., Andrianov A.P. Sovremennye tendencii razvitiya pozharnej tekhniki dlya tusheniya nefteproduktov // Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta. 2019. T. 12. № 2. S. 112–115.
11. Smirnov N.N., Bariev R.Sh., Nigmatulin R.I. O gidrodinamike pennogo potoka pri tushenii pozharov // Doklady Akademii nauk. 2021. T. 496. № 1. S. 56–61. DOI: 10.31857/S2686743721010156
12. Artem'ev V.B., Grabovskij A.S. Modul'nyj princip postroeniya tekhnicheskikh sredstv pozharotusheniya // Tekhnologii tekhnosfernoj bezopasnosti. 2018. Vyp. 2 (78). S. 23–29.

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 16.10.2025; одобрена после рецензирования: 03.04.2026;
принята к публикации: 06.04.2026

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 16.10.2025; approved after review: 03.04.2026;
accepted for publication: 06.04.2026

Информация об авторах:

Сафаргалин Айдар Расихович, аспирант Уфимского государственного нефтяного технического университета (450062, г. Уфа, ул. Космонавтов, д. 1), e-mail: playtostory@gmail.com, SPIN-код: 4034-3726

Хафизов Ильдар Фанилевич, профессор кафедры пожарной и промышленной безопасности Уфимского государственного нефтяного технического университета (450044, г. Уфа, ул. Матвея Пинского, д. 4), доктор технических наук, профессор, e-mail: ildar.hafizov@mail.ru, SPIN-код: 6033-5744

Попова Елена Викторовна, доцент Уфимского государственного нефтяного технического университета (450062, г. Уфа, ул. Космонавтов, д. 1), кандидат технических наук, e-mail: evpopova10@yandex.ru, SPIN-код: 4952-4369

Information about authors:

Safargalin Aydar R., postgraduate student of Ufa state petroleum technological university (450062, Ufa, Kosmonavtov Str., 1), e-mail: playtostory@gmail.com, SPIN: 4034-3726

Khafizov Ildar F., professor of the department of fire and industrial safety of Ufa state petroleum technological university (450044, Ufa, Matvey Pinsky Str., 4), doctor of technical sciences, professor, e-mail: ildar.hafizov@mail.ru, SPIN: 6033-5744

Popova Elena V., associate professor of Ufa state petroleum technological university (450062, Ufa, Kosmonavtov Str., 1), candidate of technical sciences, e-mail: evpopova10@yandex.ru, SPIN: 4952-4369