

ПОВЫШЕНИЕ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ И ОГНЕТУШАЩЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГЕНЕРАТОРА АЭРОЗОЛЯ МОДИФИЦИРОВАННОЙ КОНСТРУКЦИИ

Максимов П.В.

Цель. Повышение пожарной безопасности при работе генератора огнетушащего аэрозоля (ГОА), заключающееся в снижении температур выходного потока огнетушащего аэрозоля (ОА) до значений, при которых исключается самовоспламенение и плавление веществ и материалов в защищаемом помещении, достигаемым конструктивным способом газодинамического охлаждения.

Методы. Анализ литературы; сравнение существующих результатов экспериментальных и теоретических исследований по снижению выходной температуры потока пожаротушащей смеси генераторов аэrozоля; сопоставление экспериментального образца и серийно выпускаемого генератора при лабораторном исследовании полей температуры аэrozольного потока и корпусов генераторов и при огневых испытаниях.

Результаты. Разработан новый конструктивный способ газодинамического охлаждения огнетушащего аэrozоля на выходе из ГОА, заключающийся в модификации его конструкции профилирующей вставкой, выполненной по типу кольцевого сопла Лаваля с цилиндрическим центральным телом, и обеспечивающий эффективное тушение модельных очагов пожаров. На базе серийно выпускаемого генератора изготовлен модифицированный указанным конструктивным газодинамическим охладителем экспериментальный образец ГОА, огневые испытания которого подтвердили снижение температуры потока ОА при выходе из генератора на 70–75 % в сравнении с серийно выпускаемым генератором. Время ликвидации пламенного горения в защищаемом помещении при огневых испытаниях уменьшилось в 2 раза.

Область применения исследований. ГОА, модифицированный газодинамическим охладителем в виде профилирующей вставки, выполненной по типу кольцевого сопла Лаваля с цилиндрическим центральным телом, может эффективно использоваться в качестве оперативного средства пожаротушения нетлеющих веществ и материалов.

Ключевые слова: генератор огнетушащего аэrozоля, твердотопливный элемент, огнетушащий аэrozоль, кольцевое сопло Лаваля, газодинамический охладитель, полигонные огневые испытания.

(Поступила в редакцию 3 октября 2025 г.)

Введение

В ходе накопления практического опыта ликвидации пожаров происходило развитие средств тушения от их примитивных типов до современных роботизированных комплексов для работы в сложных условиях. Разработаны различные способы тушения, которые основывались на принципах охлаждения, изоляции горючих материалов от воздействия высоких температур. Из известных способов объемного тушения пожаров в закрытых помещениях наиболее эффективным и перспективным в своем развитии считается аэrozольный [1].

В настоящее время для локализации и ликвидации пожаров в помещениях [2] активно используют ГОА на основе твердотопливных аэrozолеобразующих огнетушащих составов (АОС). Результаты испытаний научно-исследовательских лабораторий подтверждают надежность работы ГОА в сочетании с эффективностью пожаротушения [3]. Однако основным недостатком аэrozольных средств пожаротушения является применение в них АОС, характеризующихся высокой температурой сгорания (более 700 °C) [4; 5]. Такая температура представляет повышенную опасность их применения из-за возможности воспламенения горючих веществ в помещении с низкой температурой самовоспламенения.

Согласно литературным и патентным данным безопасность и эффективность аэrozольного пожаротушения может быть достигнута регулированием рецептурного состава ОА с температурой газовой фазы ниже минимальной температуры самовоспламенения веществ и материалов и/или применением различных конструктивных приемов [6–11]. Из анализа рецептурного подхода снижения температуры ОА при работе генераторов установлено, что интервалы температур потока аэrozоля на выходе из генератора остаются высокими, т.к.

каждый химический реагент имеет конечные термические свойства. При использовании различных конструктивных подходов для снижения выходной температуры потока аэрозоля достигнуты интервалы температур (80–175 °C) [12], (50–150 °C) [13], в которых, несмотря на значительное снижение начальных температур, максимальные значения температуры в достигнутых диапазонах остаются небезопасными.

Для снижения температуры потока ОА в установках аэрозольного пожаротушения представляло интерес применить известный принцип сопла Лаваля, который используется в современных ракетных, сверхзвуковых, реактивных авиационных двигателях, а также в настоящее время применяется для подачи ОА на высоту и тушения объемным способом факела потока нефти или газа [14].

Основная часть

Целью работы являлась конструктивная модификация ГОА с помощью встроенного устройства типа сопла Лаваля, улучшающая газодинамическое охлаждение выходного потока пожаротушащей смеси, и экспериментальная проверка эффективности данной модификации.

По результатам теоретических расчетов ранее проведенных исследований [15] на базе ОАО «Приборостроительный завод Оptron» изготовлен экспериментальный образец ГОА «Муха-4» (рис. 1), конструкция которого модифицирована газодинамическим охладителем в виде профилирующей вставки, выполненной по типу кольцевого сопла Лаваля с цилиндрическим центральным телом (далее – ГДО-КСЛ).

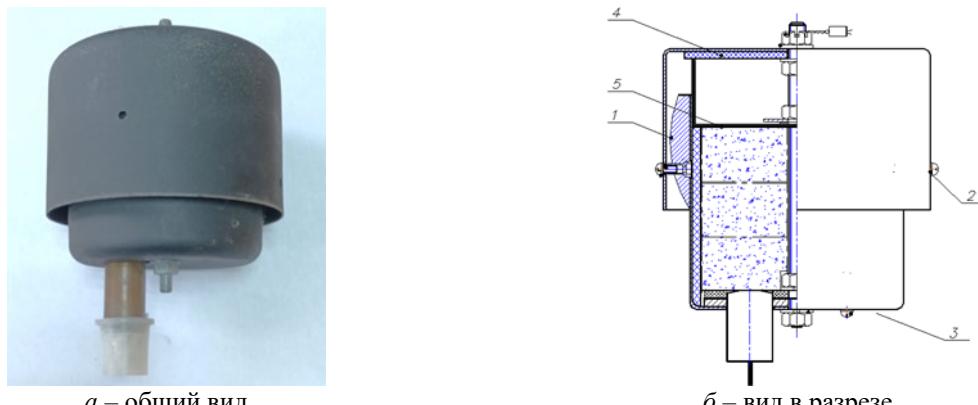


Рисунок 1. – Составные части экспериментального образца ГОА «Муха-4», модифицированного ГДО-КСЛ

Для подтверждения теоретических подходов, методики расчета и конструкторской документации проведены сравнительные экспериментальные исследования ГОА с ГДО-КСЛ. Для исследования полей температуры выходного потока ОА измерения производились двумя способами: термопарами и с использованием тепловизора FLIR Systems. Сопоставительные исследования экспериментального образца ГОА с ГДО-КСЛ и серийного образца ГОА «Муха-4» без охладителя проводились с использованием разработанного нами испытательного стенда.

Принципиальная схема и общий вид экспериментального стенда представлен на рисунке 2. Стенд состоит из корпуса камеры 1, штатива 8, на штативе установлен исследуемый образец ГОА 2, а также закреплены термопары ТХА (К)-1199/51 4 с интервалом 0,1 м от среза выходного отверстия генератора. Термопары передают информацию на контрольно-измерительный прибор ИР «Сосна-003» 5. Для исследования температурного поля потока ОА и корпуса конструкции образца ГОА перед штативом 8 установлен тепловизор FLIRThermalCamE300 6. Для определения скорости выходного потока ОА использована трубка Пито 7. Вентиляция камеры при выходе ОА из генератора осуществлялась вертикальной вытяжкой 3.

В результате проведенных сравнительных лабораторных испытаний по исследованию выходной температуры потока аэрозоля установлено, что использование ГДО-КСЛ обеспечивает снижение температуры ОА в сравнении с серийно выпускаемым образцом

ГОА: на срезе сопла выходного отверстия генератора – с 502 до 122 °C; на расстоянии 0,1 м от среза выходного отверстия генератора – с 187 до 56 °C.



1 – корпус камеры; 2 – экспериментальный образец ГОА; 3 – вентиляция; 4 – термопары;
5 – контрольно-измерительный прибор; 6 – тепловизор; 7 – трубка Пито; 8 – штатив

Рисунок 2. – Испытательный стенд для исследования образцов ГОА

Далее проведены огневые сопоставительные испытания ГОА с ГДО-КСЛ и серийного образца ГОА «Муха-4» для подтверждения эффективности пожаротушения модельных очагов.

Полигонные огневые испытания опытной партии генераторов огнетушащего аэрозоля с газодинамическим охладителем пожаротушащей смеси. Огневые испытания по определению огнетушащей способности ГОА с ГДО-КСЛ, проводились по методике [16; 17] в условно-герметичной испытательной негорючей огневой камере (сооружение, изделие, огневая камера объемом 1 м³), с отношением длины к высоте и отношением длины к ширине 1:1. Объем камеры равен значению максимального объема защищаемого помещения для одного испытуемого генератора (рис. 3). Испытания проводились для модельного очага класса А (ранг очага в соответствии с методикой).

Перед началом испытаний визуальным осмотром определяли отсутствие на поверхности ГОА следов коррозии, забоин, вмятин, трещин и других механических повреждений, дефектов. Крепление отдельных деталей, сборочных единиц исключало самопроизвольное ослабление и отвинчивание. Определение габаритных размеров проводилось с помощью линейки и штангенциркуля путем измерения расстояний между крайними точками экспериментального образца по высоте и диаметру. Массу испытуемого образца определяли с помощью весов.

Модельный очаг пожара представлял собой деревянный штабель в виде куба из брусков. Штабель размещался на твердой опоре, которая определялась в соответствии с размерами модельного очага. В качестве горючего материала использовали бруски хвойных пород дерева (сосна) первого сорта размерами 200×40±1 мм (табл. 1). Штабель выкладывался таким образом, чтобы бруски каждого последующего слоя были перпендикулярны бруском нижележащего слоя с образованием прямоугольного сечения.



Рисунок 3. – Испытательная огневая камера

Металлический поддон, предназначенный для горючей жидкости (табл. 2), помещался под деревянный штабель (рис. 3). В поддоне заливался слой воды, компенсирующий неровности дна поддона, с образованием гладкого зеркала.

Таблица 1. – Параметры модельного очага пожара класса А

Обозначение модельного очага пожара	Количество деревянных брусков в штабеле, шт.	Длина бруска, мм	Число брусков в слое, шт.	Число слоев	Площадь свободной поверхности модельного очага, м ²
0,1A	18	200	3	6	0,48

Таблица 2. – Параметры поддона для разжигания модельного очага пожара класса А

Обозначение модельного очага пожара	Размеры поддона L×B×H, мм	Минимальный объем воды, дм ³	Количество бензина, дм ³
0,1A	500×500×30	0,3	0,1

Внутри огневой камеры размещался один ГОА с ГДО-КСЛ из опытной партии, с расчетной массой АОС для этого образца. Время тушения фиксировалось через смотровое окно от момента подачи сигнала на пуск ГОА и начала истечения струи аэрозоля из генератора в огневую камеру до прекращения видимого горения модельных очагов пожара.

Модельный очаг поджигали в нижней части и давали выдержку 60 с, обеспечивая доступ воздуха в огневую камеру. По истечении времени свободного горения модельных очагов испытательное помещение закрывали и подавали сигнал на пуск экспериментального образца ГОА (рис. 4).



а – модельный очаг в виде деревянного штабеля



б – поджог горючего материала

Рисунок 4. – Проведение полигонных испытаний экспериментального образца ГОА по тушению модельного очага

В результате проведенных испытаний установлено, что пламенное горение модельных очагов прекращалось на 3-й секунде после подачи сигнала на пуск экспериментального образца генератора и поступления ОА в огневую камеру. В результате положительных огневых полигонных испытаний опытной партии ГОА с ГДО-КСЛ все модельные очаги пожара потушены, время их тушения не превысило 60 с, а также по истечении 10 мин после окончания работы ГОА и открытия проемов испытательного помещения отсутствовало пламенное горение в модельном очаге пожара (рис. 5).

В итоге огневых полигонных испытаний модельные очаги пожара были потушены. Отказов в работе всех экспериментальных образцов ГОА с ГДО-КСЛ не выявлено. Достоверность полученных результатов подтверждается применением проверенного сертификационного оборудования.



Рисунок 5. – Итог полигонных испытаний экспериментального образца ГОА по тушению модельного очага

Сопоставительные результаты испытаний экспериментальных образцов опытной партии в сравнении с серийно выпускаемой моделью генератора представлены в таблице 3.

Таблица 3. – Результаты сопоставительных полигонных испытаний

№ п/п	Наименование параметра	Генератор огнетушащего аэрозоля «Муха-4»		Экспериментальный образец ГОА с ГДО-КСЛ	
		Величина параметра	По технической документации	Величина параметра	По технической документации
1	Огнетушащая способность при тушении различных материалов, кг/м ³ : ЛВЖ (бензин АИ-92) изделия из древесины	0,08 0,085	не более 0,7	0,08 0,085	не более 0,7
2	Время подачи огнетушащего аэрозоля, не более, с	40	200	40	200
3	Масса снаряженного ГОА, кг	0,9	–	1,15	–
4	Инерционность (время срабатывания), не более, с	5	5	5	5
5	Максимальная температура корпуса во время и по окончании работы ГОА, не более, °C	530	–	300	–
6	Время ликвидации пламенного горения в защищаемом помещении, с	6	–	3	–
7	Температура на границе температурной зоны, °C: на срезе выходного отверстия от среза 100 мм от среза 250 мм от среза 300 мм от среза 400 мм	502 187 91 72 55	–	122 56 27 23 20	–

В ходе сравнительного анализа измерений и показаний установлено, что в условиях модельного пожара при работе ГОА с ГДО-КСЛ существенно снижается выходная температура до стабильных значений в диапазоне 52–56 °C, на расстоянии 0,1 м от среза выходного отверстия ГОА, также снижается температура корпуса почти в 2 раза при одинаковых основных параметрах генераторов. Зафиксировано снижение почти в 2 раза времени ликвидации пламенного горения в испытательном помещении при одинаковой огнетушащей способности. Проверку огнетушащей способности аэрозоля, получаемого при работе ГОА, осуществляли для изделий из древесины, рекомендованных для тушения и указанных в технической документации на ГОА. Экспериментально подтверждена эффективность тушения модельного очага пожара генератором аэрозоля с газодинамическим охладителем ОА, выполненным по типу устройства сопла Лаваля с цилиндрическим центральным телом.

Заключение

Разработан эффективный конструктивный способ газодинамического охлаждения огнетушащего аэрозоля на выходе из генератора огнетушащего аэрозоля (ГОА), заключающийся в модификации его конструкции газодинамическим охладителем в виде профилирующей вставки, выполненной по типу кольцевого сопла Лаваля с цилиндрическим центральным телом (ГДО-КСЛ) [18]. Изготовлен опытный образец ГОА с ГДО-КСЛ, обеспечивающий эффективное охлаждение генерируемого аэрозоля. Экспериментально подтверждено, что ГДО-КСЛ обеспечивает снижение температуры огнетушащего аэрозоля в сравнении с серийно выпускаемым образцом ГОА: на срезе сопла выходного отверстия генератора – с 502 до 122 °C; на расстоянии 0,1 м от среза выходного отверстия генератора – с 187 °C до температуры в интервале 52–56 °C. Проведены натурные огневые испытания опытной партии ГОА с ГДО-КСЛ, в результате которых доказана его эффективность тушения модельных очагов пожара: время ликвидации пламенного горения в защищаемом помещении уменьшилось в 2 раза в сравнении с серийно выпускаемым образцом генератора. ГОА с ГДО-КСЛ готов к использованию в качестве эффективного оперативного средства пожаротушения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Агафонов, В.В. Обоснование способов аэрозольного пожаротушения в высотных помещениях и сооружениях / В.В. Агафонов, Д.В. Бухтояров, В.А. Гришакина [и др.] // Пожарная безопасность. – 2019. – № 4 (97). – С. 21–31. – EDN: PYOHDN.
2. Копылов, С.Н. Эволюция средств объемного пожаротушения: от озоноразрушающих агентов до огнетушащих веществ с коротким временем жизни в атмосфере / С.Н. Копылов, В.В. Агафонов, Н.П. Копылов // Пожарная безопасность. – 2012. – № 2. – С. 123–130. – EDN: PIJAOD.
3. Гацоев, К.Г. Проблемы аэрозольного пожаротушения / К.Г. Гацоев // Пожаровзрывобезопасность. – 1999. – Т. 8, № 4. – С. 59–61.
4. Самборук, А.Р. Газогенерация и аэрозолеобразование в средствах пожаротушения / А.Р. Самборук // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Технические науки. – 2006. – № 40. – С. 128–135. – EDN: IWZIJL.
5. Агафонов, В.В. Установки аэрозольного пожаротушения. Элементы, характеристики, проектирование, монтаж и эксплуатация / В.В. Агафонов, Н.П. Копылов. – М.: ВНИИПО, 1999. – 236 с.
6. Жарков, А.С. Низкотемпературные газогенерирующие устройства в средствах пожаротушения и аварийного спасения / А.С. Жарков, Ю.Е. Орионов, В.Н. Осипков // Пожарная безопасность. – 2001. – № 1. – С. 181–184.
7. Бортников, Р.А. Постановка задачи оптимизации работы теплообменника в аэрозольной системе пожаротушения / Р.А. Бортников, Б.Ф. Потапов, С.Ю. Серебренников // Вестник Пермского государственного технического университета. – 2004. – № 20. – С. 8–18.
8. Кузнец, Е.А. Аэрозолеобразующие огнетушащие составы, генерирующие хлориды щелочных металлов / Е.А. Кузнец, А.П. Амосов, А.А. Самборук // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Технические науки. – 2005. – № 32. – С. 210–211. – EDN: JWUXUP.
9. Алтухов, О.И. Устройство аэрозольно-порошкового пожаротушения / О.И. Алтухов, А.П. Амосов, Е.А. Кузнец [и др.] // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Технические науки. – 2010. – № 2 (27). – С. 92–100. – EDN: NCTCVH.
10. Расенко, А.А. Разработка низкотемпературного аэрозолеобразующего состава на основе активных углей / А.А. Расенко, А.М. Седогин, К.С. Анохин [и др.] // Успехи в химии и химической технологии. – 2007. – Т. 21, № 6 (74). – С. 104–106. – EDN: QZMIZN.
11. Корольченко, Д.А. Новое поколение газоаэрозольных генераторов / Д.А. Корольченко // Пожаровзрывобезопасность. – 1998. – Т. 7, № 2. – С. 71–74.
12. Коломин, А.Е. Влияние основных параметров на процесс теплообмена в порошкообразном емкостном охладителе / А.Е. Коломин, В.И. Малинин, С.Ю. Серебренников // Вестник ИжГТУ имени М.Т. Калашникова. – 2004. – № 1. – С. 3–7.
13. Бортников, Р.А. Разработка низкотемпературных твердотопливных газогенераторов с инертными теплообменниками: дис. ... канд. техн. наук: 05.07.05 / Бортников Роман Александрович; Пермский государственный технический университет. – Пермь, 2010. – 151 л.
14. Козлова, Е.В. Расчет характеристик генератора огнетушащего аэрозоля и формируемой им высоконапорной струи для тушения нефтяных и газовых фонтанов / Е.В. Козлова, Ю.И. Карташов, С.Н. Копылов, О.И. Рогожина // Горение и взрыв. – 2024. – Т. 17, № 4 (45). – С. 46–53. – DOI: 10.30826/CE24170405. – EDN: WFFTWS.
15. Максимов, П.В. Снижение пожарной опасности генераторов огнетушащего аэрозоля с использованием профиiliрующей вставки для охлаждения пожаротушащей смеси / П.В. Максимов // Вестник Командно-инженерного института МЧС Республики Беларусь. – 2015. – № 2 (22). – С. 44–51. – EDN: UHCCL.
16. Карпенчук, И.В. Экспериментальные исследования генератора огнетушащего аэрозоля с газодинамическим охладителем пожаротушащей смеси для обеспечения пожарной безопасности объектов строительства / И.В. Карпенчук, И.Ю. Аушев, П.В. Максимов // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2014. – № 2 (36). – С. 121–129. – EDN: WCOMXB.
17. Техника пожарная. Генераторы огнетушащего аэрозоля. Общие технические требования. Методы испытаний: ГОСТ 34635-2020. – Введ. 01.07.2023. – М.: Российский ин-т стандартизации, 2022. – IV, 21 с.
18. Патент на полез. модель BY 10847 U, МПК A62C 13/00 (2006.01). Генератор огнетушащего аэрозоля с охладителем пожаротушащей смеси: № и 20150126: заявлено 10.04.2015: опубл. 30.10.2015 / Полевода И.И., Максимов П.В., Грачуллин А.В., Зуев М.Б.; заявитель Командно-инженерный институт МЧС Республики Беларусь. – URL: <https://search.ncip.by/database/index.php?pref=mod&lng=ru&page=3&target=12272> (дата обращения: 05.02.2025).

Повышение пожарной безопасности и огнетушащей эффективности генератора аэрозоля модифицированной конструкции

Increasing fire safety and fire extinguishing efficiency of an aerosol generator with a modified design

Максимов Павел Владимирович

Государственное учреждение образования
«Университет гражданской защиты
Министерства по чрезвычайным ситуациям
Республики Беларусь», кафедра физической
подготовки и спорта, старший преподаватель

Адрес: ул. Машиностроителей, 25,
220118, г. Минск, Беларусь

Email: maximov_pavel_01@mail.ru

SPIN-код: 2038-6062

Pavel V. Maksimov

State Educational Establishment «University
of Civil Protection of the Ministry for Emergency
Situations of the Republic of Belarus»,
Chair of Physical Training and Sports,
Senior Lecturer

Address: Mashinostroiteley str., 25,
220118, Minsk, Belarus

Email: maximov_pavel_01@mail.ru

ORCID: 0009-0006-0846-7774

INCREASING FIRE SAFETY AND FIRE EXTINGUISHING EFFICIENCY OF AN AEROSOL GENERATOR WITH A MODIFIED DESIGN

Maksimov P.V.

Purpose. Improving fire safety during operation of a fire-extinguishing aerosol generator (FEAG), which consists of reducing the temperature of the output flow of fire-extinguishing aerosol (FEA) to values that eliminate spontaneous combustion and melting of substances and materials in the protected area, achieved by a structural method of gas-dynamic cooling.

Methods. Literature analysis; comparison of existing results of experimental and theoretical studies on reducing the outlet temperature of the fire extinguishing mixture flow of aerosol generators; comparison of an experimental sample and a serially produced generator during laboratory studies of the temperature fields of the aerosol flow and generator housings and during fire tests.

Findings. A new design method for gas-dynamic cooling of a fire-extinguishing aerosol at the outlet of a FEAG has been developed. This method consists of modifying its design with a profiling insert, made according to the type of an annular Laval nozzle with a cylindrical central body, and ensures effective extinguishing of model fires. Based on a serially produced generator, an experimental model of the FEAG, modified with the specified design gas-dynamic cooler, was manufactured, fire tests of which confirmed a decrease in the temperature of the FEA flow at the exit from the generator by 70–75 % in comparison with the serially produced generator. The time to extinguish a flame fire in a protected area during fire tests was reduced by 2 times.

Application field of research. The FEAG, modified with a gas-dynamic cooler in the form of a profiling insert, made in the style of a Laval annular nozzle with a cylindrical central body, can be effectively used as an operational means of extinguishing non-smoldering substances and materials.

Keywords: fire-extinguishing aerosol generator, solid fuel element, fire-extinguishing aerosol, Laval annular nozzle, gas-dynamic cooler, field fire tests.

(The date of submitting: October 3, 2025)

REFERENCES

1. Agafonov V.V., Bukhtoyarov D.V., Grishakina V.A., Kazakov A.V., Kopylov S.N., Golubev A.D. Obosnovanie sposobov aerozol'nogo pozharotusheniya v vysotnykh pomeshcheniyakh i sooruzheniyakh [Justification of aerosol fire extinguishing methods in high-rise rooms and structures]. *Fire Safety*, 2019. No. 4 (97). Pp. 21–31. (rus). EDN: PYOHDN.
2. Kopylov S.N., Agafonov V.V., Kopylov N.P. Evolyutsiya sredstv ob'emnogo pozharotusheniya: ot ozonnorazrushayushchikh agentov do ognetushashchikh veshchestv s korotkim vremenem zhizni v atmosfere [An evolution of fire suppression tools for total flooding applications: from ozone depleting agents to substances having short period of atmospheric lifetime]. *Fire Safety*, 2012. No. 2. Pp. 123–130. (rus). EDN: PIJAO.
3. Gatsoev K.G. Problemy aerozol'nogo pozharotusheniya [Problems of aerosol fire extinguishing]. *Fire and Explosion Safety*, 1999. Vol. 8, No. 4. Pp. 59–61. (rus)
4. Samboruk A.R. Gazogeneratsiya i aerozoleobrazovanie v sredstvakh pozharotusheniya [Gas generation and aerosol formation in fire extinguishing agents] *Vestnik of Samara State Technical University. Technical Sciences Series*, 2005. No. 40. Pp. 128–135. (rus). EDN: IWZIJL.
5. Agafonov V.V., Kopylov N.P. Ustanovki aerozol'nogo pozharotusheniya. Elementy, kharakteristiki, proektirovanie, montazh i ekspluatatsiya [Aerosol fire extinguishing systems: Components, specifications, design, installation, and operation] Moscow: VNIIPo EMERCOM of Russia, 1999. 236 p. (rus)
6. Zharkov A.S., Orionov Yu.E., Osipkov V.N. Nizkotemperaturnye gazogeneriruyushchie ustroystva v sredstvakh pozharotusheniya i avariynogo spaseniya [Low-temperature gas-generating devices in fire-fighting and emergency rescue equipment]. *Fire Safety*, 2001. No. 1. Pp. 181–184. (rus)
7. Bortnikov R.A., Potapov B.F., Serebrennikov S.Yu. Postanovka zadachi optimizatsii raboty teploobmennika v aerozol'noy sisteme pozharotusheniya [Statement of the problem of optimizing the operation of a heat exchanger in an aerosol fire extinguishing system]. *Vestnik Permskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2004. No. 20. Pp. 8–18. (rus)
8. Kuznets E.A., Amosov A.P., Samboruk A.A. Aerozoleobrazuyushchie ognetushashchie sostavy, generiruyushchie kloridy shchelochnykh metallov [Aerosol-forming fire extinguishing compositions generating alkali metal chlorides]. *Vestnik of Samara State Technical University. Technical Sciences Series*, 2005. No. 32. Pp. 210–211. (rus). EDN: JWUXUP.

9. Altukhov O.I., Amosov A.P., Kuznets E.A., Samboruk A.A., Frygin V.V. Ustroystvo aerozol'no-poroshkovogo pozharotusheniya [Aerosol-powder fire extinguishing device]. *Vestnik of Samara State Technical University. Technical Sciences Series*, 2010. No. 2 (27). Pp. 92–100. (rus). EDN: NCTCVH.
10. Rasenko A.A., Sedogin A.M., Anokhin K.S., Pyzhov A.M., Rekshinskiy V.A. Razrabotka nizkotemperaturnogo aerozoleobrazuyushchego sostava na osnove aktivnykh ugley [Development of a low-temperature aerosol-forming composition based on active carbons]. *Uspekhi v khimii i khimicheskoy tekhnologii*, 2007. Vol. 21, No 6 (74). Pp. 104–106. (rus). EDN: QZMIZN.
11. Korol'chenko D.A. Novoe pokolenie gazoaerozol'nykh generatorov [New generation of gas-aerosol generators]. *Fire and Explosion Safety*, 1998. Vol. 7, No. 2. Pp. 71–74. (rus)
12. Kolomin A.E., Malinin V.I., Serebrennikov S.Yu. Vliyanie osnovnykh parametrov na protsess teploobmena v poroshkoobraznom emkostnom okhладitele [Influence of the main parameters on the heat exchange process in a powder capacitive cooler]. *Vestnik IzhGTU imeni M.T. Kalashnikova*, 2004. No. 1. Pp. 3–7. (rus)
13. Bortnikov R.A. Razrabotka nizkotemperaturnykh tverdotoplivnykh gazogeneratorov s inertnymi teploobmennikami [Development of low-temperature solid fuel gas generators with inert heat exchangers]: PhD tech. sci. diss.: 05.07.05. Perm State Technical University. Perm, 2010. 151 p. (rus)
14. Kozlova E.V., Kartashov Yu.I., Kopylov S.N., Rogozhina O.I. Raschet kharakteristik generatora ognetushashchego aerozolya i formiruemoy im vysokonapornoy strui dlya tusheniya neftyanykh i gazovykh fontanov [Calculation of characteristics of a fire-extinguishing aerosol generator and high-pressure spray for extinguishing oil and gas fountains]. *Combustion and Explosion*, 2024. Vol. 17, No. 4. Pp. 46–54. (rus). DOI: 10.30826/CE24170405. EDN: WFFTWS.
15. Maksimov P.V. Snizhenie pozharnoy opasnosti generatorov ognetushashchego aerozolya s ispol'zovaniem profiliruyushchey vstavki dlya okhlazhdeniya pozharotushashchey smesi [Reducing the fire hazard of fire extinguishing aerosol generators using a profiling insert for cooling the fire extinguishing mixture]. *Vestnik Komandno-inzhenernogo instituta MChS Respubliki Belarus'*, 2015. No. 2 (22). Pp. 44–51. (rus). EDN: UHCCL.
16. Karpenchuk I.V., Aushev I.Yu., Maksimov P.V. Eksperimental'nye issledovaniya generatora ognetushashchego aerozolya s gazodinamicheskim okhладitelem pozharotushashchey smesi dlya obespecheniya pozharnoy bezopasnosti ob"ektov stroitel'stva [Experimental studies of a fire extinguishing aerosol generator with a gas-dynamic cooler of the fire extinguishing mixture to ensure fire safety at construction sites]. *Emergency Situations: Prevention and Elimination*, 2014. No. 2 (36). Pp. 121–129. (rus). EDN: WCOMXB.
17. Tekhnika pozharnaya. Generatorы огнетушашчего аэрозоля. Общие технические требования. Методы испытаний: ГОСТ 34635-2020 [Firefighting equipment. Fire-extinguishing aerosol generators. General technical requirements. Test methods: GOST 34635-2020]. Introduced July 1, 2023. Moscow: Russian Institute of Standardization, 2022. IV, 21 p.
18. Polevoda I.I., Maksimov P.V., Grachulin A.V., Zuev M.B. Generator ognetushashchego aerozolya s okhладителем pozharotushashchey smesi [Fire extinguishing aerosol generator with fire extinguishing mixture cooler]: utility model patent BY 10847 U. Published: October 30, 2015. Patent holder: Institute for Command Engineers of the MES of the Republic of Belarus. URL: <https://search.ncip.by/database/index.php?pref=mod&lng=ru&page=3&target=12272> (accessed: February 5, 2025).

Copyright © 2025 Maksimov P.V.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.