

УДК 608.2

ПОВЫШЕНИЕ ОГNETУШАЩЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ШТАТНЫХ СРЕДСТВ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ ГРАЖДАНСКОЙ ОБОРОНЫ МЧС РОССИИ ПРИ ТУШЕНИИ ПОЖАРОВ КЛАССА В МОДИФИЦИРОВАННОЙ (ГАЗОЗАПОЛНЕННОЙ) ПЕНОЙ

И. В. МЕЩЕРЯКОВ

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России,
Российская Федерация, Санкт-Петербург
E-mail: ilya.mesch@mail.ru

В представленной статье рассмотрены возможные способы повышения огнетушащей эффективности штатных средств подразделений гражданской обороны МЧС России при тушении пожаров класса В с использованием модифицированной (газозаполненной) пены. Проведен сравнительный анализ огнетушащих свойств стандартной пены (заполненной воздухом) и пены, заполненной отработанными газами двигателя внутреннего сгорания. Экспериментально определены время тушения очага пожара, расход пенообразующего раствора и влияние различных типов заполнения пены на огнетушащий эффект. Установлено, что газозаполненная пена обладает рядом преимуществ в условиях тушения пожаров горючих (легковоспламеняющихся) жидкостей (меньшее время ликвидации очага возгорания, меньший расход пенообразователя). Экспериментально подтверждена корреляция между типом дисперсной фазы пены и огнетушащим эффектом при тушении очага пожара класса В. Результаты исследования могут быть использованы для оптимизации работы пожарных подразделений, совершенствования технологий пожаротушения и разработки новых методов борьбы с пожарами. Обоснована целесообразность дальнейших исследований огнетушащего эффекта пены с дисперсной фазой, отличной от воздуха, изучение особенностей применения таких составов и разработка рекомендаций для их внедрения в практическую деятельность подразделений пожарной охраны.

Ключевые слова: огнетушащий эффект; огнетушащая пена; сульфолон; ПО-3; газозаполненная пена.

INCREASING THE FIRE EXTINGUISHING EFFICIENCY OF STANDARD MEANS OF CIVIL DEFENSE UNITS OF THE RUSSIAN EMERGENCIES MINISTRY WHEN EXTINGUISHING CLASS B FIRES WITH MODIFIED (GAS-FILLED) FOAM

I. V. MESHCHERYAKOV

Saint Petersburg University of the State Fire Service of the Russian Emergencies Ministry,
Russian Federation, Saint Petersburg
E-mail: ilya.mesch@mail.ru

The presented article considers possible ways to reduce the fire extinguishing efficiency of standard means of the General Support mode of the Ministry of Emergency Situations of Russia when extinguishing class B fires using modified (gas-filled) foam. A comparative analysis of the fire extinguishing properties of the inclusion of foam (filled with air) and foam filled with exhaust gases of the engine of the inner chamber was carried out. Experimentally, it was possible to achieve the time of extinguishing the fire source, the consumption of the foaming solution and the effect of different types of foam on the fire extinguishing effect. It was found that gas-filled foam has a number of advantages in conditions of extinguishing fires of flammable (highly flammable) liquids (less time to eliminate the fire source, lower consumption of foaming agent). The relationship between the type of dispersed phase of the foam and the fire extinguishing effect when extinguishing a class B fire was experimentally confirmed. The results of the study can be used to optimize the operation of firefighting equipment, new fire extinguishing technologies and the development of new fire fighting methods. The validity of the present study of the fire extinguishing effect of foam with a dispersed phase, different from the study of air, the use of such compositions and the development of recommendations for their use in practical activities of fire protection conditions is substantiated.

Keywords: fire extinguishing effect; fire extinguishing foam; sulfonol; PO-3; gas-filled foam

Введение

Тушение пожара при помощи пен – это один из наиболее эффективных методов борьбы с огнем, особенно при возгораниях легко-воспламеняющихся и горючих жидкостей, не растворимых в воде. Пена покрывает горящую поверхность, блокируя доступ кислорода и охлаждая зону горения, что замедляет или полностью останавливает распространение огня.

Целью исследования является повышение огнетушащей эффективности штатных средств подразделений гражданской обороны МЧС России при тушении пожаров класса В с помощью модифицированной газозаполненной пены.

Для достижения цели были определены следующие задачи исследования:

- провести литературный обзор работ, посвященных совершенствованию приборов и способов пенного тушения;
- разработать устройство для генерации газозаполненной пены;
- экспериментально проверить огнетушащий эффект пены, заполненной отработанными газами ДВС.

Материал и методы исследования: аналогия, эксперимент, включающий натурные огневые испытания.

Большой вклад в исследования эффективности тушения пожаров воздушно-механической пеной внесли отечественные и зарубежные ученые, такие как Любимов В. Н., Фашенко А. Н., Faxing D., Hongqing Z., Long Y. и др. [1–5]

Любимов В. Н. [1] впервые установил влияние природы пенообразователя и физико-химических свойств полимеров на свойства воздушно-механической пены, полученной из бинарной композиции «пенообразователь – полимер». Наибольшее стабилизирующее действие на пену оказывают полимеры с высокой молярной массой, способные к образованию структур, упрочняющих водные плёнки пены. Введение в пенообразующий состав на основе ПО-6УМ полиакриламида с высокой молярной массой повышает устойчивость пены в 3-17 раз, сокращает время тушения дизельного топлива в 5 раз.

Фашенко А. Н. [2] получены эмпирические зависимости для определения удельного расхода и кратности пены, которые рекомендуются к использованию при оценке параметров высоконапорных пеногенераторов для подслоного пожаротушения. Величина минимальной кратности пены зависит от высоты резервуаров, коэффициента пеногашения, плотности горючей жидкости и концентрации в ней спирта. Выявлено, что область кратности пены, при которой реализуются оптимальные параметры

тушения, находится на 1,5–2 единицы выше значений минимальной кратности пены.

Faxing Ding [3] были протестированы 6%-ные белковые пены (PF) с соотношением газа и жидкости в диапазоне 5–24, время 25%-го стекания, коэффициент расширения и эффективность тушения пожара. Результаты показывают, что с увеличением соотношения газа и жидкости время 25%-го стекания и коэффициент расширения увеличиваются. В процессе пожаротушения скорость снижения температуры сначала увеличивается, а затем уменьшается по мере увеличения соотношения газа и жидкости. При соотношении газа и жидкости 20 пена демонстрирует оптимальное равновесие между текучестью и стабильностью.

Zhaoqian Li [5] показано, что пена AFFF обладает наименьшим временем тушения и наименьшим расходом жидкости для пенообразования. Химический анализ AFFF показывает, что правильное соотношение газа и жидкости способствует увеличению коэффициента расширения и скорости стекания AFFF, что влияет на охлаждающий и изолирующий эффекты пены.

В перечисленных выше исследованиях не рассмотрен вопрос модификации пены газами, отличными от воздуха – например, отработанными газами ДВС.

Чтобы получить из водного раствора пенообразователя пену, его насыщают газом, используя пенные генераторы. Раствор ПО пропускают через сетку или форсунки, создавая тем самым стабильную структуру с газовой дисперсной фазой.

Подача пены в очаг пожара осуществляется посредством пеногенератора, который позволяет контролировать направление и интенсивность подачи.

Дисперсной фазой огнетушащей пены, как правило, является воздух. При этом разрушение пузырьков воздуха под действием высокой температуры высвобождает дополнительный объем окислителя в зоне горения. Избежать этого можно, заменив воздух на газ, не имеющий в составе окислителя. Таким заполнением могут выступать отработанные газы ДВС.

По прибытии на пожар двигатель автомобиля не заглушают – он продолжает работать на холостых оборотах (работа «на насос»), при этом отработанные газы выбрасываются в атмосферу.

Состав отработанных газов (ОГ) автомобиля зависит от типа двигателя, качества топлива и эффективности системы каталитической нейтрализации. Однако в большинстве случаев основные компоненты ОГ схожи – их состав представлен в табл. 1.

Таблица 1. Состав отработанных газов

Название газа	Химическая формула	Концентрация в ОГ, %об.
Азот	N_2	78
Диоксид углерода	CO_2	5...12
Угарный газ	CO	0,1...10,0
Оксиды азота	NO_x	< 1
Водяной пар	H_2O	3...5
Углеводороды	C_nH_m	0,2...3,0

Из таблицы видно, что большая часть компонентов ОГ не способна поддерживать горение. Это позволяет сделать предположение о повышении огнетушащего эффекта пены при заполнении её такими газами.

Экспериментальная часть

Проведены испытания по тушению очага пожара класса В газозаполненной пеной, образованной с помощью водного раствора штатного пенообразователя ПО-3, а также сульфанола, применяемого для дезактивации в ГО МЧС РФ. Для заполнения пузырьков пены отработанными газами ДВС было разработано устройство, изображенное на рис. 1.

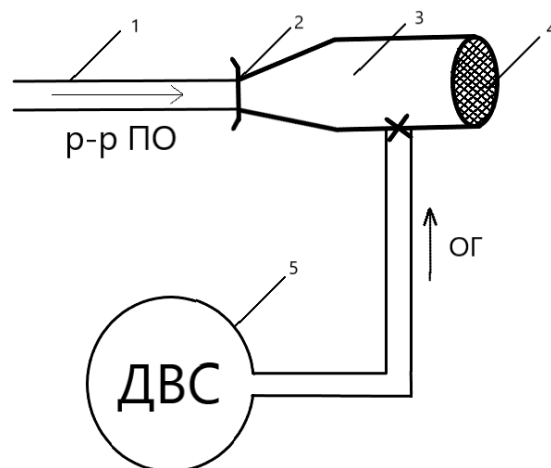


Рис. 1. Схема устройства для подачи газозаполненной пены. Цифрами обозначены: 1 – линия подачи раствора; 2 – переходник для крепления пенного ствола; 3 – модель пенного ствола; 4 – сетка; 5 – двигатель внутреннего сгорания (бензиновый)

Реализация описанного устройства (рис. 1) представлена на фото (рис. 2).

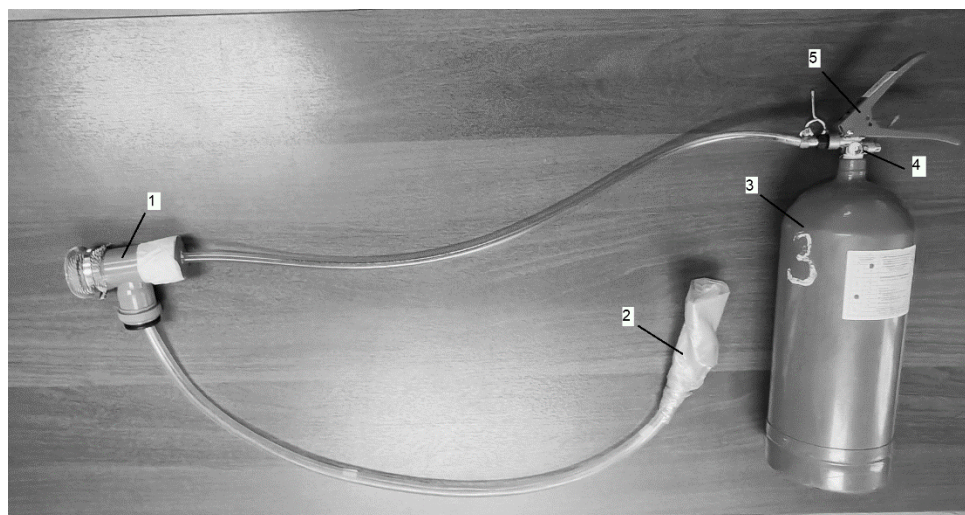


Рис. 2. Реализация устройства для подачи газозаполненной пены. Цифрами обозначены: 1 – модель пенного ствола; 2 – переходник для крепления к выхлопной трубе автомобиля; 3 – баллон для раствора пенообразователя; 4 – манометр; 5 – запорно-пусковое устройство

Конструктивное исполнение очага пожара соответствует ГОСТ Р 51057-2001¹. В качестве экспериментального очага пожара использовали металлический поддон диаметром 100 мм, в который заливали 50 мл бензина АИ-95. Подвод отработанных газов к пенному стволу осуществляли напрямую от выхлопной трубы автомобиля Lada Kalina [6–8].

В ходе эксперимента изменяли концентрацию сульфонола в водном растворе (0,3 %_{масс}, 0,5 %_{масс}) и заполнение пены (воздух, отработанные газы). Поджигали горючее, выдерживали 30 секунд свободного горения, после чего подавали раствор через пенный ствол. Фиксировали результат тушения и объём поданного раствора. Для каждого вида пены эксперимент повторяли по 4 раза в соответствии с ГОСТ Р 8.736-2011².

При подаче воздухозаполненной пены при концентрации сульфонола 0,3 %_{масс} один

раз наблюдали распыливание горючего струей ОТВ и увеличение площади горения (рис. 3) и один раз – повторное воспламенение после тушения. При подаче штатного пенообразователя ПО-3 6 %_{масс} повторного воспламенения не было, в одном случае наблюдали распыливание горючего струей ОТВ и небольшое увеличение площади горения. Газонаполненная пена в обоих случаях образует на поверхности очага плотный слой, обеспечивающий изоляцию горючего от поступления окислителя и препятствующий повторному воспламенению (рис. 4).

Результаты экспериментов представлены в табл. 2.

Из табл. 2 видно, что пена с дисперсной фазой, состоящей из ОГ, при обоих видах раствора пенообразователя позволяет потушить очаг меньшим объемом ОТВ.



Рис. 3. Распыливание горючего струей воздухозаполненной пены и увеличение площади горения



Рис. 4. Слой газонаполненной пены на поверхности очага

Таблица 2. Результаты тушения очага класса В различными видами пены

Действующее вещество в растворе ПО	Концентрация, % _{масс}	Дисперсная фаза	Средний объем поданного раствора на тушение, мл
Сульфонол	0,3	Воздух	200
Сульфонол	0,3	ОГ	192
Сульфонол	0,5	ОГ	186
ПО-3	6,0	Воздух	163
ПО-3	6,0	ОГ	155

¹ ГОСТ Р 51057-2001 «Техника пожарная. Огнетушители переносные. Общие технические требования. Методы испытаний»

² ГОСТ Р 8.736-2011 «Государственная система обеспечения единства измерений. Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения»

Для проверки статистической значимости полученных результатов попарно определяли различия выборок с помощью F-критерия Фишера. Значения $F_{\text{эмп}}$ определяли по формуле

$$F_{\text{эмп}} = \frac{S_1^2}{S_2^2} \quad (1)$$

где S_1^2 и S_2^2 – дисперсии сравниваемых выборок, при этом $S_1^2 > S_2^2$.

Численные значения отношений дисперсий представлены в табл. 3.

Для принятого уровня значимости $p = 0,05$ при четырёх независимых измерениях критическое значение критерия Фишера $F_{\text{кр}} = 9,28$. Различия дисперсий будут статистически значимы при $F_{\text{эмп}} > F_{\text{кр}}$.

Таким образом, экспериментально установлено, что замена дисперсной фазы огнетушащей пены с воздуха на отработанные газы ДВС позволяет повысить огнетушащий эффект пены при тушении ЛВЖ.

Таблица 3. Значения F-критерия Фишера

Действующее вещество / содержание в водном растворе, % _{масс} / дисперсная фаза	Сульфонол / 0,3 / ОГ	Сульфонол / 0,5 / ОГ	ПО-3 / 6,0 / воздух	ПО-3 / 6,0 / ОГ
Отношение дисперсий выборок $F_{\text{эмп}} = \frac{S_1^2}{S_2^2}$				
Сульфонол / 0,3 / воздух	10,88	9,71	116,59	13,82
Сульфонол / 0,3 / ОГ		1,12	10,72	1,27
Сульфонол / 0,5 / ОГ			12,00	1,42
ПО-3 / 6,0 / воздух				8,44
Примечание: синим цветом выделены ячейки, где значение $F_{\text{эмп}}$ превышает $F_{\text{кр}}$				

Для проверки корреляции между типом дисперсной фазы пены и огнетушащим эффектом проведён эксперимент по тушению очага пожара класса В путем подачи потока отработанных газов. В качестве экспериментального очага пожара использовали металлический поддон диаметром 50 мм, в который заливали 30 мл бензина марки АИ-95.

Для подачи отработанных газов к очагу к выхлопной системе автомобиля Lada Kalina при работе ДВС на холостом ходу подключали шланг с внутренним диаметром 15 мм. Топливо поджигали и выдерживали 30 секунд свободного горения. После этого в зону горения вносили свободный конец шланга от выхлопной системы. Эксперимент повторяли в аналогичном порядке 6 раз. Установлено, что разбавление горючей среды поданными ОГ вызывает прекращение горения в течение 1,5–2,0 с,

что позволяет сделать вывод о первостепенном влиянии дисперсной фазы пены на огнетушащий эффект.

Вывод

В ходе настоящего исследования нами разработана схема устройства для генерации газозаполненной пены. Апробирована модель этого устройства. Проведены огневые испытания по тушению газозаполненной пеной экспериментального очага пожара класса В. Результаты показали повышение огнетушащего эффекта по сравнению с воздухозаполненной пеной на 8 %.

В дальнейшем целесообразно разработать полноразмерный макет устройства для генерации пены, заполненной отработанными газами пожарного автомобиля и апробировать в работе со штатными пенными стволами, стоящими на вооружении в пожарной охране.

Список литературы

1. Любимов В. Н. Повышение огнетушащей эффективности противопожарных пен добавлением водорастворимых полимеров: дис. ... канд. техн. наук: 05.26.03. Уфа, 2015, 105 с.

2. Фащенко А. Н. Влияние кратности пены на основные параметры подслоного пожаротушения спиртосодержащих моторных

топлив: дис. ... канд. техн. наук: 05.26.03, М., 2021, 136 с.

3. Ding F. et al. Influence of gas-liquid ratio on the fire-extinguishing efficiency of compressed gas protein foam in diesel pool fire. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 2021, vol. 146. pp. 1465–1472.

4. Li Z. [et al.] Experimental research on the effectiveness of different types of foam of extinguishing methanol/diesel pool fires. Combust-

tion Science and Technology, 2024, vol. 196, issue 12, pp. 1791–1809.

5. Xu Z. [et al.] Fire-extinguishing performance and mechanism of aqueous film-forming foam in diesel pool fire. Case studies in thermal engineering, 2020, vol. 17, p. 100578.

6. Мещеряков И. В., Алексеик Е. Б., Савельев Д. В. Теоретическая оценка огнетушащего потенциала типовых дегазирующих растворов (сообщение № 1) // Пожарная безопасность: современные вызовы. Проблемы и пути решения: материалы Международной научно-практической конференции. СПб: Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий имени Героя Российской Федерации генерала армии Е. Н. Зиничева, 2023. С. 287–290. EDN: VBUHPU.

7. Мещеряков И. В., Алексеик Е. Б. Практическая оценка огнетушащего потенциала типовых дезактивирующих, дегазирующих и дезактивирующих растворов на примере экспериментального очага пожара класса Б // Актуальные вопросы совершенствования инженерных систем обеспечения пожарной безопасности объектов: сборник материалов XI Всероссийской научно-практической конференции. Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия Государственной противопожарной службы МЧС РФ, 2024. С. 232–234. EDN: GANFWE.

8. Мещеряков И. В., Алексеик Е. Б. Практическая оценка огнетушащего потенциала типовых дезинфицирующих, дегазирующих и дезактивирующих растворов на примере экспериментального очага пожара класса А // Естественные науки и пожаробезопасность: проблемы и перспективы исследований: сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия Государственной противопожарной службы МЧС РФ, 2024. С. 196–198. EDN: IMIJZC.

References

1. Lyubimov V. N. Povyshenie ognetushashchej effektivnosti protivopozharnykh pen dobavleniem vodorastvorimykh polimerov. Diss. kand. tekhn. nauk [Increasing the fire extinguishing efficiency of fire-fighting foams by adding water-soluble polymers. Cand. tech. sci. diss.]. Ufa, 2015, 105 p.

2. Fashchenko A. N. Vliyaniye kratnosti peny na osnovnyye parametry podslojnogo pozharotusheniya spirtosoderzhashchih motornykh

topliv. Diss. kand. tekhn. nauk [Influence of foam expansion ratio on the main parameters of sub-layer fire extinguishing of alcohol-containing motor fuels. Cand. tech. sci. diss.]. Moscow: 2021, 136 p.

3. Ding F. et al. Influence of gas–liquid ratio on the fire-extinguishing efficiency of compressed gas protein foam in diesel pool fire. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 2021, vol. 146, pp. 1465–1472.

4. Li Z. [et al.] Experimental research on the effectiveness of different types of foam of extinguishing methanol/diesel pool fires. Combustion Science and Technology, 2024, vol. 196, issue 12, pp. 1791–1809.

5. Xu Z. [et al.] Fire-extinguishing performance and mechanism of aqueous film-forming foam in diesel pool fire. Case studies in thermal engineering, 2020, vol. 17, p. 100578.

6. Meshcheryakov I. V., Alekseik E. B., Savelyev D. V. Teoreticheskaya ocenka ognetushashchego potentsiala tipovykh degaziruyushchih rastvorov (soobshchenie № 1) [Theoretical assessment of the fire extinguishing potential of typical degassing solutions (report No. 1)]. *Pozharnaya bezopasnost': sovremennye vyzovy. Problemy i puti resheniya: Materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii*. SPb.: Sankt-Peterburgskiy universitet Gosudarstvennoy protivopozharnoy sluzhby Ministerstva Rossiyskoy Federatsii po delam grazhdanskoy oborony, chrezvychaynym situatsiyam i likvidatsii posledstviy stikhiynykh bedstviy imeni Geroya Rossiyskoy Federatsii generala armii Ye. N. Zinicheva, 2023. Pp. 287–290. EDN: VBUHPU.

7. Meshcheryakov I. V., Alekseik E. B. Prakticheskaya ocenka ognetushashchego potentsiala tipovykh dezaktiviruyushchih, degaziruyushchih i dezaktiviruyushchih rastvorov na primere eksperimental'nogo ochaga pozhara klassa B. [Practical assessment of the fire extinguishing potential of typical decontaminating, degassing and decontaminating solutions using the example of an experimental class B fire]. *Aktual'nye voprosy sovershenstvovaniya inzhenernykh sistem obespecheniya pozharnej bezopasnosti ob'ektov: sbornik materialov XI Vserossiyskoj nauchno-prakticheskoy konferencii*. Ivanovo: Ivanovskaya pozharno-spasatel'naya akademiya GPS MCHS Rossii, 2024. Pp. 232–234. EDN: GANFWE.

8. Meshcheryakov I. V., Alekseik E. B. Prakticheskaya ocenka ognetushashchego potentsiala tipovykh dezinficiruyushchih, degaziruyushchih i dezaktiviruyushchih rastvorov na primere eksperimental'nogo ochaga pozhara klassa A [Practical assessment of the fire extinguishing potential of typical disinfecting, degassing and decontaminating solutions using the example of an experimental class A fire]. *Estestvennye nauki i*

pozharobezопасnost': problemy i perspektivy issledovaniy: sbornik materialov Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii s mezhdunarodnym uchastiem.

Ivanovo: Ivanovskaya pozharno-spasatel'naya akademiya GPS MCHS Rossii, 2024. Pp. 196–198. EDN: IMIJZC.

Мещеряков Илья Вячеславович

Санкт-Петербургский университет ГПСМЧС России,
Российская Федерация, Санкт-Петербург

адъюнкт

E-mail: ilya.mesch@mail.ru

Meshcheryakov Ilya Vyacheslavovich

St. Petersburg University of the State Emergency Committee of Russia,
Russian Federation, Saint Petersburg

Postgraduate student

E-mail: ilya.mesch@mail.ru