

Научная статья
УДК 614.842.61.
doi: 10.34987/vestnik.sibpsa.2024.18.49.015

Оценка эффективности тушения горючих жидкостей пеной совместно с хладоном

Артем Александрович Гапеев¹
Максим Андреевич Гудков¹
Петр Владимирович Комраков¹
Алексей Викторович Мещеряков¹
Юлия Николаевна Коваль²

¹Академия Государственной противопожарной службы МЧС России, Москва, Россия

²Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, Железногорск, Россия

Автор ответственный за переписку: Артем Александрович Гапеев, kratos_1987@mail.ru

Аннотация. В статье рассмотрены способы повышения эффективности огнетушащих пен, путем инжектирования в раствор пенообразователя хладонов, на примере хладона 318Ц и пенообразователя «Эльфтор Джой». В модельном очаге пожара проведено экспериментальное сравнение подслоного и поверхностного способов тушения такими пенами. Определены численные значения критических и оптимальных параметров тушения для поверхностного и подслоного способов тушения. Дана оценка эффективности использования таких пен с помощью параметра эффективности тушения.

Ключевые слова: эффективность тушения, пенные и газовые огнетушащие вещества, критическая и оптимальная интенсивность подачи, удельный расход, коэффициент использования огнетушащих веществ

Для цитирования: Гапеев А.А., Гудков М.А., Комраков П.В., Мещеряков А.В., Коваль Ю.Н. Оценка эффективности тушения горючих жидкостей пеной совместно с хладоном // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2024. № 3 (34). С. 163-170. <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2024.18.49.015>.

Original article

EVALUATING THE EFFECTIVENESS OF EXTINGUISHING FLAMMABLE LIQUIDS WITH FOAM IN COMBINATION WITH REFRIGERANT

Artem A. Gapeev¹
Maxim A. Gudkov¹
Petr V. Komrakov¹
Alexey V. Meshcheryakov¹
Yulia N. Koval²

¹Academy of the State Fire Service of EMERCOM of Russia, Moscow, Russia

²Siberian Fire and Rescue Academy of EMERCOM of Russia, Zheleznogorsk, Russia

Corresponding author: Artem A. Gapeev, kratos_1987@mail.ru

Abstract. The article discusses ways to increase the efficiency of fire extinguishing foams by injecting freons into the solution of a foaming agent, using the example of freon 318C and the Elfor Joy foaming agent. In a model fire, an experimental comparison of sublayer and surface extinguishing

methods with such foams was carried out. Numerical values of critical and optimal extinguishing parameters for surface and sublayer extinguishing methods have been determined. The effectiveness of using such foams is assessed using the extinguishing efficiency parameter.

Keywords: extinguishing efficiency, foam and gas extinguishing agents, critical and optimal feed rate, specific consumption, coefficient of use of extinguishing agents

For citation: Gapeev A.A., Gudkov M.A., Komrakov P.V., Meshcheryakov A.V., Koval Yu.N. Evaluating the effectiveness of extinguishing flammable liquids with foam in combination with refrigerant // Siberian Fire and Rescue Bulletin.2024. № 3 (34). С. 163-170. (In Russ.) <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2024.18.49.015>.

Обзор проблемы

Практика пожаротушения резервуаров с горючими жидкостями, показала высокую эффективность при использовании воздушно-механических пен на основе фторированных пленкообразующих пенообразователей, в качестве огнетушащих веществ. Согласно стандартным подходам к ликвидации подобного рода возгораний принято, что пены низкой кратности и средней кратности подаются поверхностным способом, а пеноэмульсии и пены низкой кратности подслоным способом, при условии отсутствия ограничений на данный способ подачи от производителя.

Обзор существующих подходов к использованию альтернативных огнетушащих составов [1-5] в связи с малочисленностью данных позволяют установить только общие закономерности без количественной оценки. В конструктиве современных резервуаров предусмотрены устройства подачи хладонов, установленные на крыше, а также установки для подачи низкократной пленкообразующей пены на поверхность.

При подаче воздушно-механической пены в очаг пожара поверхностным и подслоным способами происходит не только изолирование паров горючей жидкости от зоны горения, но и разрушение пены, из пены выделяется водяной отсек, который охлаждает горючую жидкость и само пламя (Рис.1).

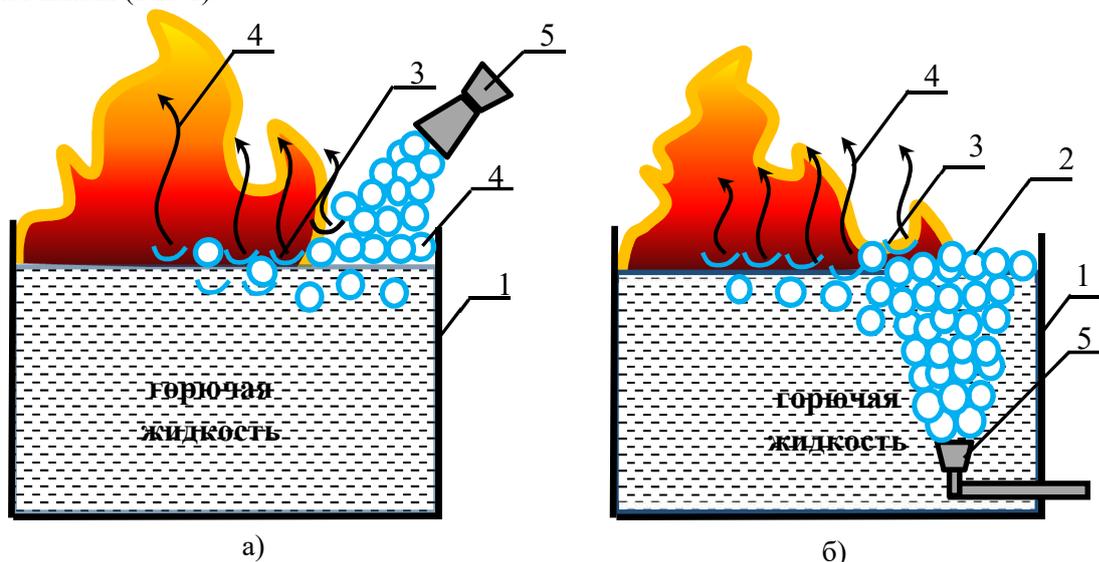


Рис.1. Способы подачи пены в модельный очаг пожара: а) надслоный способ подачи, б) подслоный способ подачи, 1- резервуар с горючей жидкостью 2 – пузырек пены, 3 – разрушенный (лопнувший) пузырек, 4 – выход огнетушащего газа из пузырька, 5 – пеногенератор

Механизмы изолирования, охлаждения и экранирование благоприятно воздействуют на тушение [8-12]. Но при разрушении пены из ее пузырьков выходит воздух, который попадая в пламя, поддерживает процесс горения, что, замедляет тушение. Поэтому в последние два десятилетия периодически возникала идея наполнения пузырьков пены огнетушащим газом, то

есть использование комбинированного способа тушения, что должно привести к уменьшению удельного расхода огнетушащей пены.

Однако представленный комбинированный подход к ликвидации пожара, при всех указанных преимуществах, предполагает внесение изменений конструктива генераторов пены для инъекции огнетушащего газа в раствор пенообразователя, что в свою очередь потребует финансовых затрат. Кроме того, изменятся расчетные величины оптимальной интенсивности подачи и критической интенсивности подачи. На основании представленного, решение задачи комбинированного способа тушения требует комплексного подхода, основанного на проведении лабораторных и полигонных исследований, в ходе которых необходимо установить:

1. Различие критических и оптимальных параметров тушения при инъекции огнетушащего газа;
2. Потери огнетушащего газа, связанные с его растворением в горючей жидкости при надслойным и послойным способами подачи.

Постановка и проведение эксперимента

Предварительные исследования в этом направлении проводились в Академии ГПС МЧС России [6,7]. Так на примере пенообразователя «Эльфтор Джой» и хладона 318Ц были определены критические и оптимальные параметры тушения модельного очага пожара. Хладон 318Ц был выбран с учетом того, что он наименее опасен для здоровья человека по сравнению с другими хладонами (концентрация, оказывающая вред здоровью человека, составляет 10% об., озоноразрушающий потенциал (ОРП, ODP) равен 0). Для решения поставленной задачи использовали макет резервуара (Рис.2) диаметром 15 см. Для предотвращения вскипания горючей жидкости в макете предусмотрена система охлаждения водой. В качестве исследуемой горючей жидкости был выбран гептан. Для получения огнетушащей пены использовали 6% раствор пенообразователя «Эльфтор Джой» с последующей инъекцией хладона 318Ц. (Рис.2). Кратность (Кп) полученной пены составила 7 и численно не менялась во всех опытах. Контроль интенсивности подачи раствора пенообразователя и расхода хладона 318Ц проводили по тарированному ротаметру. Величину интенсивность подачи (Iп) варьировали в диапазоне от 0,03 – 0,18 кг/(м²с).

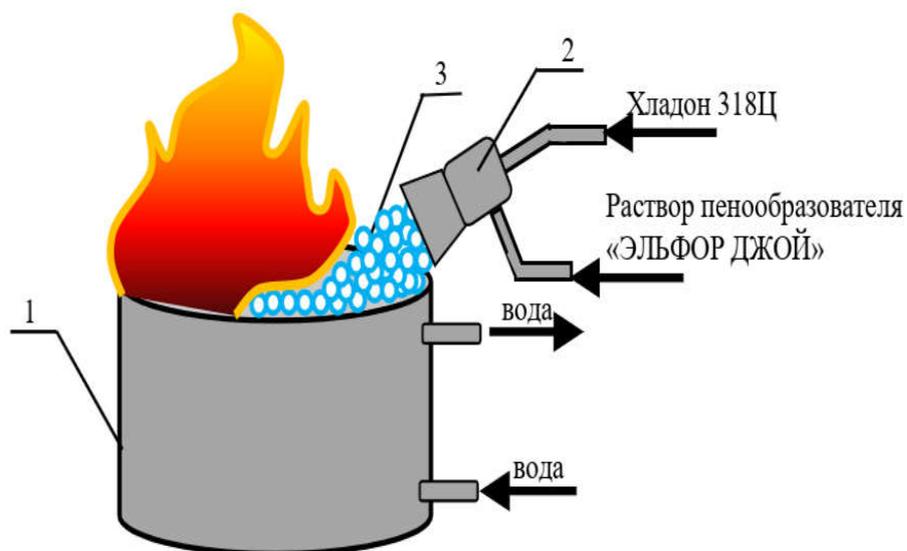


Рис.2. Структурная схема установки по определению параметров тушения горючих жидкостей пенами
1 – макет резервуара с водяной рубашкой охлаждения, заполненный керосином, 2 – макет пеногенератора

Результаты эксперимента при поверхностном способе подачи представлены в Табл.1.

Табл.1. Экспериментальные и расчетные параметры тушения при поверхностном способе подачи

№ п/п	Кратность пены K_p	Время тушения τ_T [с]	Интенсивность подачи I_p [$\frac{кг}{м^2 \cdot с}$]	Удельный расход $q_{уд}$ [$\frac{кг}{м^2}$]	Параметр эффективности и $P_{эт}$ [$\frac{м^2}{кг \cdot с}$]	Примечание
1	7	11,0	0,18	1,9	0,033	Параметр эффективности и рассчитывался только для оптимальной интенсивности и подачи
2		16,8	0,10	1,7		
3		20,0	0,08	1,6		
4		35,5	0,07	2,5		
5		46,3	0,05	2,3		
6		65,7	0,04	2,6		
7		93,0	0,03	2,9		

В соответствии с описанной ранее методикой провели исследования при подслоном способе подачи (Табл.2).

Табл.2. Экспериментальные и расчетные параметры тушения при подслоном способе подачи

№ п/п	Кратность пены K_p	Время тушения τ_T , [с]	Интенсивность подачи I_p , [$\frac{кг}{м^2 \cdot с}$]	Удельный расход $q_{уд}$, [$\frac{кг}{м^2}$]	Параметр эффективности и $P_{эт}$, [$\frac{м^2}{кг \cdot с}$]	Примечание
1	7	9,7	0,19	1,8	0,08	Параметр эффективности и тушения рассчитывался только для минимального удельного расхода
2		12,3	0,15	1,8		
3		10,3	0,12	1,2		
4		13,0	0,10	1,3		
5		34,6	0,05	1,7		
6		70,1	0,03	2,1		

Графическая интерпретация полученных данных для различных способов подачи представлена на Рис.3.

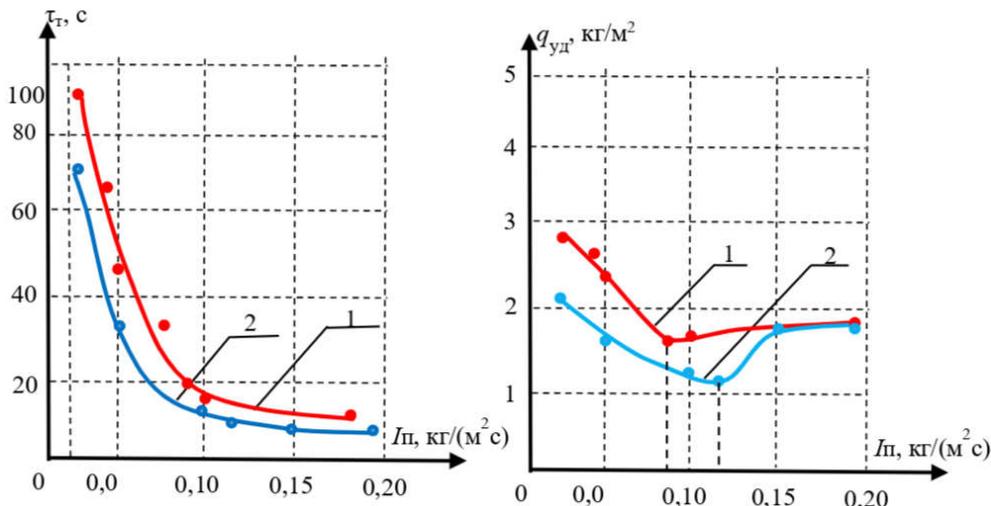


Рис.3. Зависимость времени тушения τ_t и удельного расхода $q_{уд}$ от интенсивности подачи при поверхностном (1) и подслоном (2) способах тушения

Сравнительный анализ (Рис.3) показал, что у подслоного способа подачи время тушения пожара меньше на 20 – 25%. При этом эффективность тушения определяется такими параметрами: как значением минимального удельного расхода пены и параметром эффективности тушения. И та интенсивность подачи, которая обеспечивает минимальный удельный расход (максимальный параметр эффективности тушения), и будет являться оптимальной. Оптимальную интенсивность подачи рекомендуют использовать как нормативную.

Минимальный удельный расход ($q_{уд}$), равный произведению времени тушения на интенсивность подачи пены, для поверхностного способа тушения составил 1,6 кг/м², для подслоного способа – 1,2 кг/м², соответственно.

Следовательно, подслоный способ тушения раствором пенообразователя «Эльфор Джой», инжестируемым хладомом 318Ц модельного очага пожара, наиболее предпочтителен, при этом оптимальная интенсивность подачи составит 0,12 кг/(м²с).

Параметр эффективности тушения для 6% раствора пенообразователя «Эльфор Джой» при подслоном тушении составил:

$$П_{эт} = \frac{1}{I_p \tau_t^2} = \frac{1}{0,12 \times 10,3^2} = 0,08 \text{ м}^2/(\text{кг} \cdot \text{с}) \quad (1)$$

где I_p – интенсивность подачи пены, кг/(м²·с);

τ_t – время тушения, [с].

Критическая интенсивность подачи (когда интенсивность подачи пены равна интенсивности ее разрушения) ориентировочно составила для обоих способов тушения – 0,02 кг/(м²с).

Результаты и их обсуждение

При сравнении с воздушно-механической пеной, полученной 6%-ым раствором пенообразователя «Эльфор Джой» установлено, что параметр эффективности тушения для воздушно-механической пены при подслоном тушении составил 0,05 м²/(кг·с), что значительно ниже, чем при тушении пеной с инжестируемым в нее хладомом.

Полученные численные результаты экспериментов (минимальный удельный расход и максимальный параметр эффективности тушения) по своим численным значениям превосходят значения аналогичных параметров, полученных тушением раствором пенообразователя «Эльфор Джой», инжестируемого воздухом в 1,5 раза. Но в этой области

необходимо проанализировать также экономическую и экологическую составляющие, что потребует дополнительных расчетов и экспериментальных исследований.

Список источников

1. Абдурагимов И.М. Сборник статей по физике и химии горения и взрыва. - Москва: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2011. - 159 с. - URL: <https://search.rsl.ru/ru/record/02000016976> (дата обращения 03.05.2023).
2. Авторское свидетельство № 1796206 СССР, МПК А62С 3/06. Устройство для тушения пожаров горючих жидкостей в резервуарах: № 4794821: заявл.: 23.02.1990: опубл.: 23.02.1993/ Шароварников А.Ф., Наумов В.В.; Заявитель // Высшая инженерная пожарно-техническая школа. 3 с.: ил. - URL: https://searchplatform.rospatent.gov.ru/doc/SU1796206A1_19930223 (дата обращения 03.05.2023).
3. Старков Н.Н. Действие механизма охлаждения при тушении пожаров жидкостей в резервуаре твердым диоксидом углерода // Пожаровзрывобезопасность. 2006. Т. 15. № 6. С. 58-60. - URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=9434129> (дата обращения 03.05.2023).
4. Воевода С.С. и др. Влияние факторов пожара на огнетушащую эффективность плёнообразующих пенообразователей. Пожаровзрывобезопасность. 2012. Т. 21. № 10. С. 63-65. - URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=18059949&ysclid=lwqa364jah681597900> (дата обращения 03.05.2023).
5. Корольченко Д.А., Шароварников А.Ф., Дегаев Е.Н. Огнетушащая эффективность пены низкой кратности. Научный журн. Научное обозрение. 2015. № 8. С. 114-120. - URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23883465> (дата обращения 03.05.2023).
6. Комраков П.В., Борисова Т.А., Осипова П.А. «Оценки эффективности тушения пенами совместно с хладонами и другими газами», Материалы VIII международной научно-практической конференции «Пожаротушение проблемы, технологии, инновации» 17-18 марта, Часть 2, Академия ГПС МЧС РФ, М. 2022г., С. 84 – 89. - URL: <https://elibrary.ru/amqeu?ysclid=lwqaatq3lj416913101> (дата обращения 03.05.2023).
7. Комраков П.В., Герасимова И.Н., Грушева Т.Г., Григорьевская И.И. «Влияние огнетушащих газов, инжектированных в состав пен, на эффективность тушения горючих жидкостей» Журнал «Пожары и ЧС: Предотвращение ликвидация» Академия ГПС МЧС РФ, М. 2022г., С. 12 – 18. - URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=48859746> (дата обращения 03.05.2023).
8. Шароварников С.А., Корольченко Д.А., Ляпин А.В. Тушение многокомпонентных смесевых топлив фторсинтетическими пенообразователями подслоиным способом // Пожаровзрывобезопасность. 2014. Т. 23. №6 С. 76-80. - URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22018783&ysclid=lwqaefpftn212359834> (дата обращения 03.05.2023).
9. Шароварников А.Ф., Воевода С.С., Макаров С.А., Шароварников С.А. Комплексное исследование свойств фторсинтетической пены для тушения нефтепродуктов // Пожаровзрывобезопасность. 2003. Т. 12. № 6 С. 39-42. - URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kompleksnoe-issledovanie-svoystv-ftorsinteticheskoy-peny-dlya-tusheniya-nefteproduktov?ysclid=lwqah818wi732420302> (дата обращения 03.05.2023).
10. Молчанов В.П., Бастриков Д.Л., Макаров С.А., Фещенко А.Н., Третьяков А.В., Апанасенко И.А. Требуемая кратность пены для подслоиногo тушения пожаров нефти и нефтепродуктов в вертикальных стальных резервуарах // Пожарная безопасность. 2021. № 2 (103). С. 12-18. - URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=46154523&ysclid=lwqak7sdnt731078757> (дата обращения 03.05.2023).
11. Фещенко А.Н., Макаров С.А., Молчанов В.П., Третьяков А.В., Воевода С.С. Определение кратности пленкообразующей пены для подслоиногo тушения пожаров горючих жидкостей // Пожаровзрывобезопасность. 2017. Т. 26. № 9. С. 65-73. - URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30622179&ysclid=lwqalh4tni687893761> (дата обращения 03.05.2023).
12. Андреев А.П., Молчанов В.П., Фещенко А.Н. Устойчивость огнетушащей пены с добавками специального назначения // Технологии техносферной безопасности. 2016. № 4 (68). С. 42-49. - URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29117983&ysclid=lwqamf5pvn163890024> (дата обращения 03.05.2023).

References

1. Abduragimov I.M. Collection of articles on physics and chemistry of gorenje i explosion. - Moscow: Bauman Moscow State Technical University, 2011. - 159 p. - URL: <https://search.rsl.ru/ru/record/02000016976> (date of application: 05.12.23).
2. Copyright certificate №. 1796206 USSR, IPC A62C 3/06. Device for extinguishing fires of flammable liquids in tanks: №. 4794821: application: 02/23/1990: publ: 02/23/1993/ Sharovarnikov A.F., Naumov V.V.; Applicant // Higher Engineering Fire Technical School. 3 p.: ill. - URL: https://searchplatform.rospatent.gov.ru/doc/SU1796206A1_19930223 (date of application: 05.12.23).
3. Starkov N.N. The effect of the cooling mechanism when extinguishing fires of liquids in a tank with solid carbon dioxide. // Fire and explosion safety. 2006. Vol. 15. №. 6. pp. 58-60. - URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=9434129> (date of application: 05.12.23).
4. Voivode S.S. et al. The influence of fire factors on the extinguishing efficiency of film-forming foaming agents. Fire and explosion safety. 2012. Vol. 21. №. 10. pp. 63-65. - URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=18059949&ysclid=lwqa364jah681597900> (date of application: 05.12.23).
5. Korolchenko D.A., Sharovarnikov A.F., Degaev E.N. Fire extinguishing efficiency of low-density foam. Scientific journal. Scientific review. 2015. №. 8. pp. 114-120. - URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23883465> (date of application: 05.12.23).
6. Komrakov P.V., Borisova T.A., Osipova P.A. "Evaluation of the effectiveness of extinguishing foams together with refrigerants and other gases", Materials of the VIII International scientific and practical conference "Fire extinguishing problems, technologies, innovations" March 17-18, Part 2, Academy of GPS of the Ministry of Emergency Situations of the Russian Federation, M. 2022, pp. 84-89. – URL: <https://elibrary.ru/amqeou?ysclid=lwqaatq3lj416913101> (date of application: 05.12.23).
7. Komrakov P.V., Gerasimova I.N., Grusheva T.G., Grigoryevskaya I.I. "The effect of extinguishing gases injected into foam on the effectiveness of extinguishing flammable liquids" Journal "Fires and Emergencies: Prevention and elimination" Academy of GPS of the Ministry of Emergency Situations of the Russian Federation, M. 2022, pp. 12-18. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=48859746> (date of application: 05.12.23).
8. Sharovarnikov S.A., Korolchenko D.A., Lyapin A.V. Extinguishing of multicomponent mixed fuels with fluorosynthetic foaming agents in a sublayer method // Fire and explosion safety. 2014. Vol. 23. №. 6 pp. 76-80. - URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22018783&ysclid=lwqaefpftn212359834> (date of application: 05.12.23).
9. Sharovarnikov A.F., Voevoda S.S., Makarov S.A., Sharovarnikov S.A. A comprehensive study of the properties of fluorosynthetic foam for extinguishing non-food products // Fire and explosion safety. 2003. Vol. 12. №. 6 pp. 39-42. - URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kompleksnoe-issledovanie-svoystv-ftorsinteticheskoy-peny-dlya-tusheniya-nefteproduktov?ysclid=lwqah818wi732420302> (date of application: 05.12.23).
10. Molchanov V.P., Bastrikov D.L., Makarov S.A., Feshchenko A.N., Tretyakov A.V., Apanasenko I.A. Required foam multiplicity for sublayer extinguishing of oil and petroleum products fires in vertical steel tanks // Fire safety. 2021. №. 2 (103). pp. 12-18. - URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=46154523&ysclid=lwqak7sdnt731078757> (date of application: 05.12.23).
11. Feshchenko A.N., Makarov S.A., Molchanov V.P., Tretyakov A.V., Voivode S.S. Determination of the multiplicity of film-forming foam for sublayer extinguishing of flammable liquids // Fire and explosion safety. 2017. Vol. 26. №. 9. pp. 65-73. - URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30622179&ysclid=lwqalh4tni687893761> (date of application: 05.12.23).
12. Andreev A.P., Molchanov V.P., Feshchenko A.N. Resistance of fire extinguishing foam with special purpose additives // Technosphere safety technologies. 2016. №. 4 (68). pp. 42-49. - URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29117983&ysclid=lwqamf5pvn163890024> (date of application: 05.12.23).

Информация об авторах

П.В. Комраков - кандидат технических наук, доцент

А.В. Мещеряков - кандидат технических наук

М.А. Гудков – кандидат технических наук

А.А. Гапеев – кандидат химических наук

Ю.Н. Коваль - кандидат биологических наук

Information about the author

P.V. Komrakov - Ph.D. of Engineering, Associate Professor

A.V. Meshcheryakov - Ph.D. of Engineering Sciences

A.A. Gapeev – Ph.D. of Chemical Sciences

M.A. Gudkov – Ph.D. of Engineering Sciences

Yu.N. Koval - Candidate of Biological Sciences

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 27.07.2024, одобрена после рецензирования 20.08.2024, принята к публикации 30.08.2024.

The article was submitted 27.07.2024, approved after reviewing 20.08.2024, accepted for publication 30.08.2024.