

ПЕНООБРАЗОВАТЕЛЬ ДЛЯ ТУШЕНИЯ ВОДОРАСТВОРИМЫХ ГОРЮЧИХ ЖИДКОСТЕЙ

Кондакова Я.А., Навроцкий О.Д., Иванов И.Ю.

Цель. Разработка пенообразователя целевого назначения для тушения водорастворимых горючих жидкостей.

Методы. В работе применены теоретические методы исследования (анализ, синтез), а также эмпирические – измерение динамической вязкости растворов полимеров, проведение испытаний устойчивости пены на поверхности водорастворимых горючих жидкостей.

Результаты. Проведены измерения значений вязкости растворов полимеров и определено максимальное значение концентрации полимера, при которой вязкость пенообразователя допустима для использования насосными установками пожарных автоцистерн; разработана методика для определения устойчивости пены на поверхности водорастворимых горючих жидкостей.

Область применения исследований. Полученные результаты имеют большое практическое значение и могут быть использованы при разработке рецептуры пенообразователей, а разработанная методика позволит определить устойчивость пены на поверхности водорастворимых горючих жидкостей в лабораторных условиях.

Ключевые слова: пенообразователь целевого назначения, спиртостойкий пенообразователь, водорастворимая горючая жидкость, тиксотропная жидкость, неньютоновская жидкость, вязкость пенообразователей.

(Поступила в редакцию 12 апреля 2022 г.)

Введение

В настоящее время для ликвидации горения жидких горючих материалов широко используются пенообразователи – одно из наиболее эффективных и удобных огнетушащих веществ. В Республике Беларусь имеется более 50 крупных предприятий химической промышленности, которые применяют в технологическом цикле водорастворимые жидкие углеводороды (спирты, кетоны и др.), являющиеся, как правило, пожароопасными горючими жидкостями. Для противопожарной защиты предприятий, использующих водорастворимые горючие жидкости (ОАО «Полимир», ОАО «Гродно Азот», ОАО «Лида – Лакокраска», ОАО «Могилев – Химволокно», ОАО «Брестский завод бытовой химии» и др.), применяются пенообразователи общего назначения. В то же время, как показывает практика (например, тушение пожара на территории ООО «СТиМ» Бреста в апреле 2006 г.), указанные пенообразователи недостаточно эффективны при тушении водорастворимых горючих жидкостей. Причина – быстрое разрушение пены, полученной из пенообразователей общего назначения, в результате ее контакта с водорастворимой горючей жидкостью [1].

Для тушения водорастворимых горючих жидкостей в зарубежных странах используют специальные спиртостойкие пенообразователи, такие как ULTRAGUARD AR-AFFF, ANSULITE AR-AFFF, ThunderStorm® AR-AFFF, Fomtec ARC, Pyrocool AR, Транспортный AFFF/AR HCB, Finiflam A3F/A, Orchidex ARC, S.F.P.M., Sthamex Moussol APS F-15, Thunderstorm AR/AFFF, Uniseral AF 22*, Авангард, Акваформ 2Н (2НСВ), Добровolec AFFF универсальный, Народный AFFF-многофункциональный, Нижегородский AFFF универсальный, Пайроком AFFF/АТС, «Полярный», в Беларуси производится пенообразователь «Барьер-пленкообразующий 6НС-П». В состав перечисленных пенообразователей входят водорастворимые полимеры, образующие защитную полимерную пленку на границе контакта пены и водорастворимой (полярной) жидкости и тем самым препятствующие разрушению воздушно-механической пены. Основной недостаток указанных пенообразо-

вателей – их высокая стоимость. В связи с изложенным разработка более дешевого пенообразователя целевого назначения для тушения водорастворимых горючих жидкостей является актуальной задачей.

Основная часть

При разработке рецептуры пенообразователя целевого назначения, устойчивого к действию водорастворимых горючих жидкостей (спиртостойкого пенообразователя), за прототип был взят состав пленкообразующего пенообразователя, изготовленного по патенту ВУ 17905¹ и представляющего собой пенообразователь типа AFFF по СТБ 2459-2006. Пленкообразующие пенообразователи применяются для тушения неполярных горючих жидкостей, таких как бензин, дизельное топливо, керосин. Для тушения водорастворимых полярных горючих жидкостей (спирты, кетоны) пленкообразующие пенообразователи не используются, т.к. происходит быстрое разрушение пены в результате ее контакта с поверхностью жидкости [2]. Стоит отметить, что при тушении пожаров полярных жидкостей кратность пены не играет роли. Здесь важно использовать пенообразователи с особыми свойствами, которые препятствуют быстрому разрушению пены за счет формирования твердой разделительной пленки на поверхности спирта [3].

С целью повышения устойчивости пены на поверхности водорастворимых горючих жидкостей в состав пенообразователя предложено вводить растворимые в пенообразователе полимерные вещества, молекулы которых при контакте с полярной жидкостью образуют на ее поверхности пленку, защищающую пену от разрушения. Полимерная добавка должна иметь хорошую растворимость в воде и низкую растворимость в горючей жидкости. При контакте пены с водорастворимой горючей жидкостью полимерная добавка образует нерастворимую полимерную пленку на границе раздела горючая жидкость / пена и препятствует разрушению пены. Предполагается, что с повышением концентрации полимерной добавки в пенообразователе его устойчивость к действию водорастворимых горючих жидкостей возрастет. В то же время увеличится вязкость пенообразователя и его стоимость. Поэтому целью запланированных исследований было определение концентрации полимерной добавки, при которой пенообразователь обладает достаточной устойчивостью к действию водорастворимых горючих жидкостей и при этом имеет как можно более низкую вязкость.

В качестве полимерных добавок, которые возможно использовать в пенообразователе, целесообразно использовать природные полисахариды, альгинат натрия, гидроксипропилцеллюлозу и др. Все они относятся к гидроколлоидам, т.е. веществам, способным набухать и растворяться в воде с образованием коллоидных систем. Гидроколлоиды связывают свободную воду и, следовательно, уменьшают ее подвижность, тем самым повышая вязкость и снижая показатель текучести коллоидной системы, что отражается на реологических свойствах [4].

Для исследований и разработки пенообразователя были взяты следующие полимерные вещества: ксантановая камедь двух сортов (пищевая и косметическая), гидроксипропилцеллюлоза, коньяковый глюкоманнан, альгинат натрия, гуаровая камедь. Эти вещества растворимы в воде и не растворимы в спиртах, поэтому предполагается, что они могут формировать защитную пленку, образующуюся из пены на поверхности спиртов.

Известно, что для тушения пожаров используются рабочие растворы пенообразователя с определенной концентрацией, обычно 6, 3 или 1 %. Дозирование пенообразователя осуществляется с помощью пеносмесителей непосредственно во время тушения пожара. Введение полимерных веществ в состав пенообразователя приводит к увеличению его вязкости. Как правило, такие пенообразователи являются неньютоновскими (тиксотропными)

¹ Пенообразователь для тушения пожаров: пат. ВУ 17905 / О.Д. Навроцкий, С.Г. Котов, В.К. Емельянов, Ю.В. Заневская. – Оpubл. 28.02.2014.

жидкостями, т.е. способными под нагрузкой уменьшать свою вязкость. Так, пенообразователи, обладающие в нормальных условиях повышенной вязкостью 1500–3000 мПа·с, под нагрузкой снижают ее до 150–500 мПа·с. Поэтому в работе стояла задача разработки пенообразователя с вязкостью не более определенного значения, допустимого при дозировании его пеноносителями на пожарных автоцистернах.

Проблеме дозирования вязких пенообразователей, которые являются неньютоновскими жидкостями, посвящена работа научного коллектива ВНИИПО МЧС России [5]. В работе определили и экспериментально подтвердили возможность использования вязких неньютоновских пенообразователей насосными установками пожарных автоцистерн.

Возможность дозирования вязкого пенообразователя в работе [5] определяли на пеноносителе центробежного пожарного насоса НЦПН-40/100. По результатам испытаний выяснилось, что неньютоновские пенообразователи, вязкость которых при измерениях на ротационном вискозиметре при скорости сдвига $107,9 \text{ с}^{-1}$ снижается до 200 мПа·с, можно дозировать насосными установками пожарных автоцистерн при их заборе из посторонней емкости (или пенобака). В связи с изложенным нами проводилось определение усилия сдвига при значении скорости сдвига $107,9 \text{ с}^{-1}$.

Для определения максимально возможной концентрации полимеров были приготовлены растворы различных концентраций: 0,5; 0,375; 0,25; 0,125 и 0,0625 %. Измерения динамической вязкости растворов полимерных веществ производились на ротационном вискозиметре ROTAVISC при скорости сдвига $107,9 \text{ с}^{-1}$. У данного прибора достаточно большой диапазон измерений, и он позволяет измерить усилие сдвига в зависимости от скорости сдвига при использовании коаксиальных шпинделей.

При измерениях динамической вязкости растворов полимерных веществ были выявлены следующие зависимости:

- чем выше концентрация раствора, тем выше вязкость;
- с увеличением скорости сдвига вязкость раствора снижается;
- у растворов полимеров гидроксипропилцеллюлозы, альгината натрия, гуаровой камеди низкой концентрации (0,0625 %) при высоких значениях скорости сдвига (от $107,9 \text{ с}^{-1}$ и более) наблюдаются незначительные изменения в результатах измерениях, что свидетельствует о потере тиксотропных свойств.

На рисунке 1 представлена зависимость динамической вязкости растворов полимеров от концентрации при скорости сдвига $107,9 \text{ с}^{-1}$.

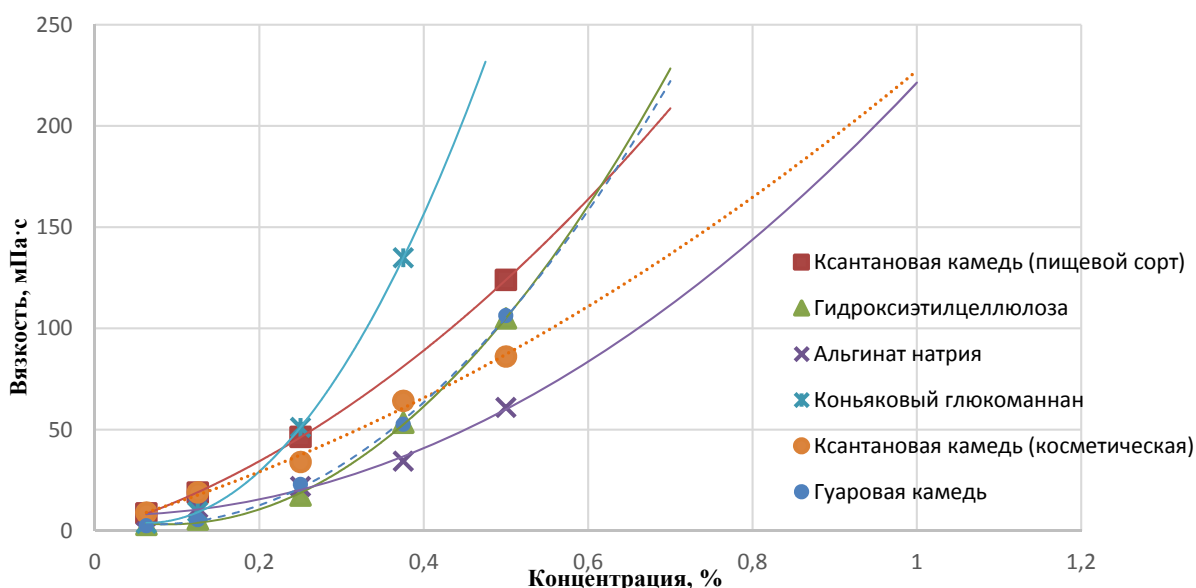


Рисунок 1. – Зависимость динамической вязкости растворов полимеров от концентрации при скорости сдвига $107,9 \text{ с}^{-1}$

Методом экстраполяции были определены максимальные концентрации полимера в растворах, значения вязкости которых не будет превышать 200 мПа·с при скорости сдвига 107,9 с⁻¹. Данные значения сведены в таблицу 1.

Таблица 1. – Максимальные концентрации растворов полимеров

Полимерное вещество	Концентрация, %
Ксантановая камедь (пищевой сорт)	0,681 ± 0,023
Гидроксиэтилцеллюлоза	0,660 ± 0,004
Коньяковый глюкоманнан	0,445 ± 0,003
Альгинат натрия	0,949 ± 0,007
Ксантановая камедь (косметическая)	0,916 ± 0,012
Гуаровая камедь	0,667 ± 0,004

Установленные значения концентрации полимера в растворах, при которых вязкость не будет превышать 200 мПа·с при скорости сдвига 107,9 с⁻¹, учтены при приготовлении образцов пенообразователей для исследования их устойчивости на поверхности горючих жидкостей. Для изготовления образцов пенообразователей с установленной максимальной концентрацией полимера за основу был взят состав пленкообразующего пенообразователя по патенту ВУ 17905.

Анализ существующих методик определения устойчивости пены на поверхности водорастворимых горючих жидкостей^{2, 3, 4, 5, 6} показал, что большинство рассмотренных методик трудоемки, требуют громоздких установок, а также значительных финансовых затрат. Поэтому нами разработана методика определения устойчивости пены на поверхности водорастворимых горючих жидкостей, использование которой возможно в лабораторных условиях.

При разработке лабораторной методики исследований устойчивости пены на поверхности водорастворимых горючих жидкостей за основу была взята методика, используемая американской компанией Dyne Fire Protection Labs⁷. Недостатком методики является то, что в ней используется большое количество огнетушащего вещества относительно количества горючей жидкости (изопропанола), что соответствует методу тушения пеной с разбавлением изопропанола. В развитие методики компании Dyne Fire Protection Labs нами определены критерии оценки устойчивости пены на поверхности водорастворимых горючих жидкостей.

Учтя все недостатки, мы усовершенствовали методику, сущность которой заключается в следующем:

– круглая металлическая емкость (рис. 2) заполняется водорастворимой горючей жидкостью (в работе использовался изопропиловый спирт), после чего в центр емкости устанавливается латунный полый цилиндр;

² Вещества огнетушащие. Пенообразователи для тушения пожаров. Общие технические требования. Методы испытаний: СТБ 2459-2016. – Взамен СТБ ГОСТ Р 50588-99; введ. 12.08.2016. – Минск, Госстандарт, 2016. – 42 с.

³ Пенообразователи для тушения пожаров. Общие технические требования и методы испытаний: НПБ 304 2001. – Введ. 01.01.2002. – ВНИИПО, 2002. – 19 с.

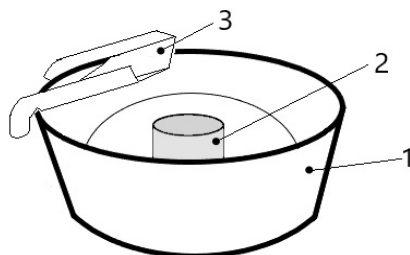
⁴ Пенообразователи для тушения пожаров. Общие технические требования и методы испытаний: ГОСТ Р 50588-2012. – Взамен ГОСТ Р 50588-93; введ. 01.09.2012. – М.: Стандартинформ, 2013. – 24 с.

⁵ Средства пожаротушения. Пенoконцентраты. Часть 1. Технические условия на концентраты низкократной пены для нанесения поверх несмешивающихся с водой жидкостей: ISO 7203-1:2019. – Взамен ISO 7203-1:2011. – Введ. 01.07.2019. – International Organization for Standardization, 2019. – 50 с.

⁶ Revised guidelines for the performance and testing criteria, and surveys of foam concentrates for fixed fire-extinguishing systems: MSC.1/Circ.1312; 10 June 2009. – London: International Maritime Organization, 2009. – 15 p.

⁷ Alcohol Resistant Foam Tests [Electronic resource] / Dyne Fire Protection Labs. – Mode of access: <https://www.dyneusa.com/alcohol-resistant-foam>. – Date of access: 03.11.2021.

- предметная пластина, необходимая для равномерного распределения пены по поверхности спирта, устанавливается на борт емкости, по которой в течение 30 с вливается приготовленная с помощью размельчителя тканей пена низкой кратности массой 100 г;
- через 30 с после вливания поджигается спирт, расположенный внутри объема полого цилиндра;
- если по истечении 30 с пламя не переходит на поверхность пены, то щипцами убирается полый цилиндр и испытание продолжается;
- за результат по устойчивости пены к действию водорастворимых горючих жидкостей (спиртостойкость) принимается время от момента изъятия полого цилиндра до разрушения 50 % площади пены (контроль площади горения ведется визуально и с помощью видеофиксации).



1 – емкость; 2 – полый цилиндр; 3 – предметная пластина
Рисунок 2. – Схема установки определения устойчивости пены на поверхности водорастворимых горючих жидкостей

Устойчивость к разрушению на поверхности водорастворимой горючей жидкости зависит от того, сколько времени требуется для разрушения пены. Из этого следует вывод: чем больше времени необходимо для разрушения 50 % площади пены, тем более устойчива пена к спиртам.

Результаты проведенных испытаний по разработанной методике представлены в таблице 2.

Таблица 2. Результаты испытаний пенообразователей по устойчивости пены к действию водорастворимых горючих жидкостей

Состав пенообразователя	Наличие пленки	Устойчивость пены к действию водорастворимых горючих жидкостей, с
Состав по патенту ВУ 17905	нет	–
Состав по патенту ВУ 17905 с добавлением 0,660 % гидроксиэтилцеллюлозы	нет	–
Состав по патенту ВУ 17905 с добавлением 0,445 % коньякового глюкоманнана	нет	–
Состав по патенту ВУ 17905 с добавлением 0,949 % альгината натрия	нет	–
Состав по патенту ВУ 17905 с добавлением 0,667 % гуаровой камеди	нет	–
Состав по патенту ВУ 17905 с добавлением 0,660 % ксантановой камеди (косметической)	да	4 ± 2
Состав по патенту ВУ 17905 с добавлением 0,681 % ксантановой камеди (пищевого сорта)	да	17 ± 4
Состав по патенту ВУ 17905 с добавлением 0,916 % ксантановой камеди (косметической)	да	69 ± 12
Промышленный пенообразователь типа AFFF/AR	да	затухание пламени через 4 с

Из таблицы видно, что пена, полученная из образцов пенообразователей с добавлением альгината натрия, гидроксиэтилцеллюлозы, коньякового глюкоманнана, гуаровой камеди, разрушается очень быстро, до момента зажигания спирта. Это связано с тем, что указанные полимерные добавки при добавлении в состав пенообразователя по патенту ВУ 17905 не образуют устойчивую равномерную пленку между водорастворимой горючей

жидкостью и пеной. В то же время при использовании ксантановой камеди пищевого сорта и ксантановой камеди косметической наблюдается образование устойчивой полимерной пленки на поверхности изопропилового спирта, в результате чего пена также становилась устойчивой к действию спирта длительное время.

Для сравнительной оценки устойчивости пены, полученной из изготовленных нами образцов пенообразователей с добавками полимеров, к действию водорастворимых горючих жидкостей и промышленно выпускаемого спиртостойкого пенообразователя типа AFFF/AR, были проведены испытания последнего по разработанной методике. В результате установлено, что пена обладает хорошей устойчивостью к действию изопропилового спирта, причем при извлечении полого цилиндра происходит заполнение образовавшегося отверстия в пене и пламя затухает в течение 4 с (табл. 2).

Заключение

Проведены измерения значений вязкости приготовленных образцов растворов полимеров и определено максимальное значение концентрации полимера, при которой вязкость пенообразователя допустима для использования насосными установками пожарных автоцистерн. Разработана методика определения устойчивости пены на поверхности водорастворимой горючей жидкости, позволяющая минимизировать затраты и упростить проведение испытаний. Приготовлены образцы пенообразователей и проведены испытания по разработанной методике. По результатам проведенных испытаний следует, что добавление полимеров ксантановой камеди пищевого сорта и ксантановой камеди косметической в состав пенообразователя, изготовленного по патенту ВУ 17905, повышает устойчивость пены на поверхности водорастворимых горючих жидкостей (спиртов).

ЛИТЕРАТУРА

1. Вилкова, Н.Г. Свойства пен и методы их исследования: монография / Н.Г. Вилкова. – Пенза: ПГУАС, 2013. – 120 с.
2. Корольченко, Д.А. Тушение горючих жидкостей пеной из пленкообразующих пенообразователей / Д.А. Корольченко, А.А. Волков // Пожаровзрывобезопасность. – 2017. – Т. 26, № 8. – С. 45–55. – DOI: 10.18322/PVB.2017.26.08.45-55. – EDN: ZTUOXN.
3. Воевода, С.С. Тушение пламени полярных горючих жидкостей / С.С. Воевода [и др.] // Пожаровзрывобезопасность. – 2012. – Т. 21, № 6. – С. 69–73.
4. Никифорова, Т.А. Органические продукты и пищевые добавки для их производства: учеб. пособие / Т.А. Никифорова, Т.В. Меледина. – СПб.: НИУ ИТМО; ИХиБТ, 2012. – 108 с.
5. Дозирование пенообразователей повышенной вязкости насосными установками пожарных автоцистерн: рекомендации. – М.: ВНИИПО, 2002. – 17 с.

Пенообразователь для тушения водорастворимых горючих жидкостей
Foaming agent for extinguishing water-soluble combustible liquids

Кондакова Яна Александровна

Государственное учреждение образования
«Университет гражданской защиты
Министерства по чрезвычайным ситуациям
Республики Беларусь», факультет подготовки
руководящих кадров, магистрант

Адрес: ул. Машиностроителей, 25,
220118, г. Минск, Беларусь
Email: janakondakowa777@gmail.com
ORCID: 0000-0002-2825-6687

Yana A. Kondakova

State Educational Establishment «University
of Civil Protection of the Ministry for Emergency
Situations of the Republic of Belarus»,
Administration Training Faculty,
Graduate Student

Address: Mashinostroiteley str., 25,
220118, Minsk, Belarus
Email: janakondakowa777@gmail.com
ORCID: 0000-0002-2825-6687

Навроцкий Олег Дмитриевич

кандидат технических наук, доцент

Государственное учреждение образования
«Университет гражданской защиты
Министерства по чрезвычайным ситуациям
Республики Беларусь», кафедра
автоматических систем безопасности, доцент

Адрес: ул. Машиностроителей, 25,
220118, г. Минск, Беларусь
Email: Oleg.Navrotsky@gmail.com
ORCID: 0000-0002-4137-2519

Oleg D. Navrotskiy

PhD in Technical Sciences, Associate Professor

State Educational Establishment «University
of Civil Protection of the Ministry for Emergency
Situations of the Republic of Belarus»,
Chair of Automatic System Security,
Associate Professor

Address: Mashinostroiteley str., 25,
220118, Minsk, Belarus
Email: Oleg.Navrotsky@gmail.com
ORCID: 0000-0002-4137-2519

Иванов Игорь Юрьевич

Государственное учреждение образования
«Университет гражданской защиты
Министерства по чрезвычайным ситуациям
Республики Беларусь», кафедра
автоматических систем безопасности,
старший преподаватель

Адрес: ул. Машиностроителей, 25,
220118, г. Минск, Беларусь
Email: igor.ivanovwork8@gmail.com
ORCID: 0000-0002-1072-2432

Igor Yu. Ivanov

State Educational Establishment «University
of Civil Protection of the Ministry for Emergency
Situations of the Republic of Belarus»,
Chair of Automatic System Security,
Senior Lecturer

Address: Mashinostroiteley str., 25,
220118, Minsk, Belarus
Email: igor.ivanovwork8@gmail.com
ORCID: 0000-0002-1072-2432

FOAMING AGENT FOR EXTINGUISHING WATER-SOLUBLE COMBUSTIBLE LIQUIDS

Kondakova Ya.A. Navrotsky O.D., Ivanov I.Yu.

Purpose. Development of a foaming agent for the purpose of extinguishing water-soluble combustible liquids.

Methods. Theoretical research methods (analysis, synthesis), as well as empirical ones – measuring the dynamic viscosity of polymer solutions, testing the foam stability on the surface of water-soluble combustible liquids – are used in the work.

Findings. Measurements of the viscosity values of polymer solutions were carried out and the maximum value of the polymer concentration was determined, at which the viscosity of the foaming agent is acceptable for use by pumping units of fire trucks; a technique has been developed for determining the stability of foam on the surface of water-soluble combustible liquids.

Application field of research. The results obtained are of practical importance and can be used in the development of foam concentrate formulations, and the developed method will make it possible to determine the foam stability on the surface of water-soluble combustible liquids in laboratory conditions.

Keywords: foaming agent for special purposes, alcohol-resistant foaming agent, water-soluble combustible liquid, thixotropic liquid, non-Newtonian liquid, viscosity of foaming agents.

(The date of submitting: April 12, 2022)

REFERENCES

1. Vilkova N.G. *Svoystva pen i metody ikh issledovaniya* [*Properties of foams and methods of their study*]: monograph. Penza: PGUAS, 2013. 120 p. (rus)
2. Korolchenko D.A., Volkov A.A. Tushenie goryuchikh zhidkostey penoy iz plenkoobrazuyushchikh penoobrazovateley [Extinguishing of flammable liquids by film forming foaming agents]. *Fire and Explosion Safety*, 2017. Vol. 26, No. 8. Pp. 45–55. (rus). DOI: 10.18322/PVB.2017.26.08.45-55. EDN: ZTUOXN.
3. Voevoda S.S., Molchanov V.P., Sharovarnikov A.F., Bastrikov D.L. Tushenie plameni polyarnykh goryuchikh zhidkostey [Extinguishing of the flame of polar combustible liquids]. *Fire and Explosion Safety*, 2012. Vol. 21, No. 6. Pp. 69–73. (rus)
4. Nikiforova T.A., Meledina T.V. *Organicheskie produkty i pishchevye dobavki dlya ikh proizvodstva* [*Organic products and food additives for their production*]: tutorial. St. Petersburg: Institute of Refrigeration and Biotechnology ITMO, 2012. 108 p. (rus)
5. *Dozirovanie penoobrazovateley povyshennoy vyazkosti nasosnymi ustanovkami pozharnykh avtotsistern* [*Dosing of high-viscosity foam concentrates by pumping units of fire trucks*]: recommendations. Moscow: VNIPO, 2002. 17 p. (rus)