

**Прошина Ольга Петровна**, канд. хим. наук., доцент кафедры общей и специальной химии, ФГБОУ ВО «Академия Государственной противопожарной службы МЧС России», г. Москва (SPIN-код: 3679-7936, AuthorID: 535338)

**Макаров Сергей Александрович**, канд. техн. наук, профессор кафедры общей и специальной химии, ФГБОУ ВО «Академия Государственной противопожарной службы МЧС России», г. Москва (SPIN-код: 5961-0780, AuthorID: 695632)

**Битуев Рашид Борисович**, преподаватель кафедры пожарной безопасности в строительстве (в составе УНК ПБОЗ), ФГБОУ ВО «Академия Государственной противопожарной службы МЧС России», г. Москва (SPIN-код: 2195-5072, AuthorID: 1139160)

**Макарова Анна Васильевна**, заведующий лабораторией кафедры общей и специальной химии, ФГБОУ ВО «Академия Государственной противопожарной службы МЧС России», г. Москва (SPIN-код: 9319-2086, AuthorID: 1201750)

## **ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ СВОЙСТВ ПЕНООБРАЗОВАТЕЛЯ В ПРОЦЕССЕ ЕГО ХРАНЕНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ НА ОГНЕТУШАЩУЮ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПЕНЫ**

**Аннотация.** Для предотвращения загрязнения окружающей среды стойкими органическими соединениями в пожарной охране МЧС России широко применяются пенообразователи типа S [1-3]. Поверхностно-активные вещества (далее – ПАВ) в указанных пенообразователях относятся к первому классу биоразлагаемости с продолжительностью индукционного периода менее трех суток. Поэтому для очистки сточных вод от поверхностно-активных веществ из пенообразователя типа S рекомендуется использовать лишь биологические способы очистки без дополнительного применения физико-химических способов очистки. Это обеспечивает высокую экологическую и гигиеническую безопасность применения пенного пожаротушения в городах и населенных

пунктах [1, 4]. Однако высокая экологическая безопасность пенообразователей типа S сопровождается существенным снижением огнетушащей эффективности в процессе их хранения и эксплуатации [1]. В данной статье представлены экспериментальные данные, описывающие степень снижения основных параметров тушения воздушно-механической пеной из пенообразователя типа S в процессе его хранения и эксплуатации.

**Ключевые слова:** пенное пожаротушение, загрязнение окружающей среды, биоразлагаемость ПАВ, толщина пенного слоя.

**Abstract.** Type S foaming agents are widely used in the fire service of the Russian Emergencies Ministry to prevent environmental pollution with persistent organic compounds [1-3]. The surfactants in these foaming agents belong to the first class of biodegradability with an induction period of less than three days. Therefore, to purify wastewater from surfactants from type S foaming agents, it is recommended to use only biological purification methods without additional use of physical and chemical purification methods. This ensures high environmental and hygienic safety of foam fire extinguishing in cities and towns [1, 4]. However, the high environmental safety of type S foaming agents is accompanied by a significant decrease in fire extinguishing efficiency during their storage and operation [1]. This article presents experimental data describing the degree of reduction in the main parameters of extinguishing with air-mechanical foam from type S foaming agent during its storage and operation.

**Keywords:** foam fire extinguishing, environmental pollution, surfactant biodegradability, foam layer thickness

При проведении экспериментальных исследований использован пенообразователь типа S, выпущенный в июле 2021 года. Пенообразователь типа S через 16 месяцев эксплуатации обозначен как пенообразователь №1. Этот же пенообразователь через 36 месяцев эксплуатации обозначен как пенообразователь №2. В качестве горючей жидкости использовано летнее дизельное топливо – как тот нефтепродукт, на объектах с которым возникает

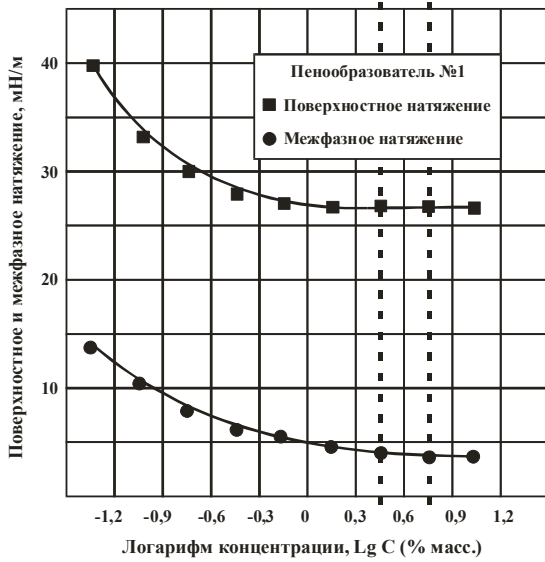
наибольшее количество пожаров. Для обеспечения воспроизводимости результатов испытаний приготовление рабочих растворов пенообразователей производилось с использованием питьевой воды с удельной электропроводностью не более 0,1 См/м.

Одним из основных параметров эффективности пенного пожаротушения принят коэффициент растекания горючей жидкости по поверхности рабочего раствора пенообразователя. Данный показатель позволяет определить будет ли дизельное топливо «заползать» на пенные пленки, что сопровождается визуальным эффектом горения поверхности пенного слоя. Для определения коэффициента растекания требуется измерить поверхностное натяжение рабочего раствора пенообразователя, поверхностное натяжение дизельного топлива, а также межфазное натяжение на границе между рабочим раствором пенообразователя и дизельным топливом. Измерения поверхностного и межфазного натяжения производились по стандартизированной методике п.5.8 ГОСТ Р 50588-2012 [5]. Расчет коэффициента растекания производился по формуле:

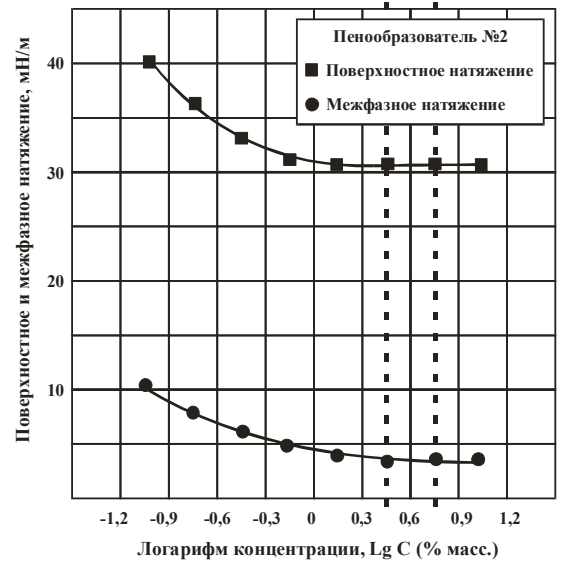
$$K_p = \sigma^P - \sigma^{\Gamma Ж} - \sigma^{МФ} \quad (1),$$

где  $K_p$  – коэффициент растекания [мН/м],  $\sigma^P$  - поверхностное натяжение рабочего раствора пенообразователя [мН/м],  $\sigma^{\Gamma Ж}$  - поверхностное натяжение дизельного топлива [мН/м],  $\sigma^{МФ}$  - межфазное натяжение на границе между рабочим раствором пенообразователя и дизельным топливом [мН/м].

Изотермы поверхностного и межфазного натяжения растворов пенообразователей представлены на рисунке 1.



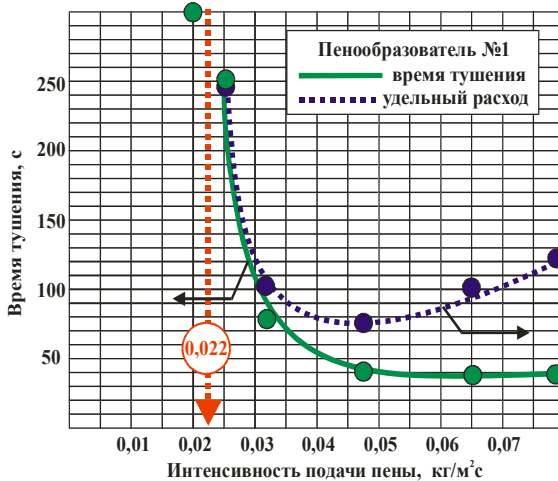
а)



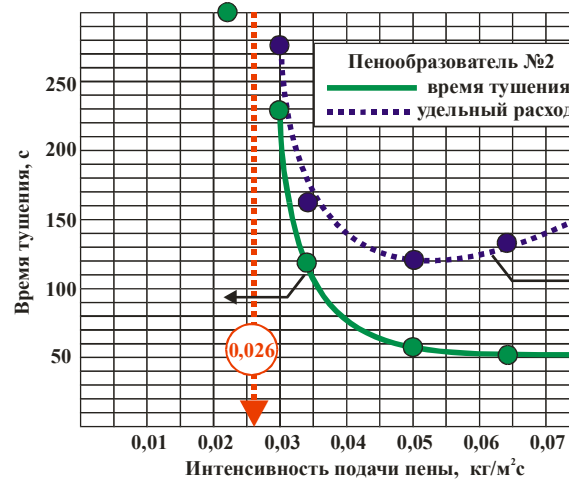
б)

**Рисунок 1** – Изотермы поверхностного и межфазного натяжения растворов от логарифма массовой концентрации пенообразователя в воде.

Таким образом, коэффициент растекания для пенообразователя №1 составит  $K_{p1} = 26,5 - 24 - 4,0 = -1,5$  мН/м, а для пенообразователя №2  $K_{p2} = 31,5 - 24 - 3,5 = 4,0$  мН/м. Таким образом через 36 месяцев эксплуатации пенообразователя будет невозможно получить пену, на поверхность которой не будет «наползать» пленка дизельного топлива.



а)



б)

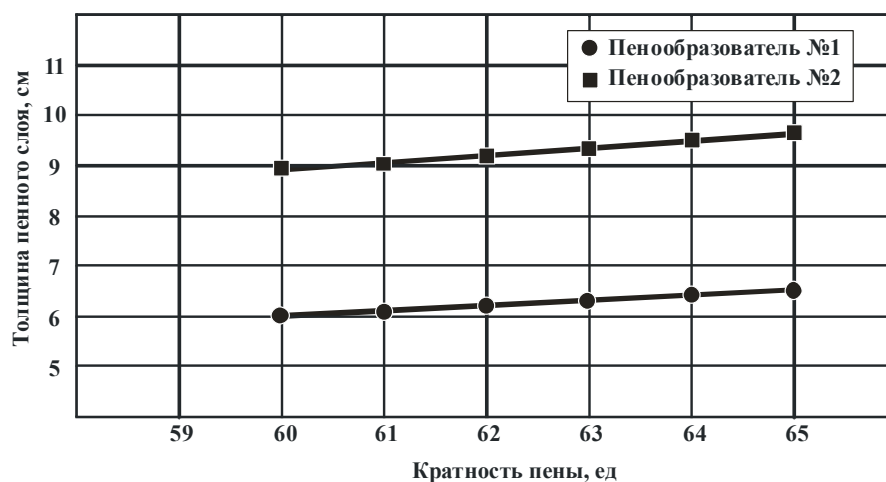
**Рисунок 2** – Зависимости времени тушения дизельного топлива и удельного расхода рабочего раствора пенообразователя от интенсивности подачи пены.

Для определения огнетушащей эффективности пены применялась установка, в соответствии с п. 5.5 ГОСТ Р 50588-2012 [5]. Для регулирования интенсивности подачи пены использовались семь металлических противней диаметром 180 мм, 190 мм, 200 мм, 230 мм, 280 мм, 330 мм, 340 мм. Расход рабочего раствора пенообразователя составлял от 1,8 до 2,2 грамм в секунду. Кратность пены составляла от 60 до 65 единиц. Результаты экспериментальных исследований по определению времени тушения дизельного топлива и удельного расхода рабочего раствора пенообразователя от интенсивности подачи пены представлены на рисунке 2. Определение минимальной требуемой толщины пенного слоя определяли по формуле 2.

$$H = \frac{(J_{opt} - J_{кр}) Q_{уд} K_n}{J_{opt} \rho} \quad (2)$$

где  $H$  – минимальная требуемая толщина пенного слоя, [м];  $J_{opt}$  – оптимальная интенсивность подачи пены, [кг/(м<sup>2</sup>с)];  $\rho$  – плотность рабочего раствора пенообразователя, [кг/м<sup>3</sup>];  $J_{кр}$  – критическая интенсивность подачи пены, [кг/(м<sup>2</sup>с)];  $K_n$  – кратность пены;  $Q_{уд}$  – минимальный удельный расход рабочего раствора пенообразователя [кг/м<sup>2</sup>].

Результаты расчетов минимальной требуемой толщины пенного слоя для тушения представлены на рисунке 3.



**Рисунок 3** – Зависимости минимальной требуемой толщины пенного слоя для тушения от кратности пены.

Проведенные экспериментальные исследования по определению поверхностного и межфазного натяжения рабочих растворов для пенообразователя типа S на границе с дизельным топливом показывают существенную разницу коэффициентов растекания. Повышение поверхностного натяжения с 26,5 до 31,5 мН/м и снижение межфазного натяжения с 4,0 до 3,5 мН/м в процессе хранения и эксплуатации пенообразователя, приводит к росту коэффициента растекания дизельного топлива по поверхности рабочего раствора с -1,5 до 4,0 мН/м. Значения времени тушения дизельного топлива от интенсивности подачи пены средней кратности использованы для определения критической и оптимальной интенсивности подачи пены, минимального удельного расхода рабочего раствора пенообразователя и расчета минимальной толщины пенного слоя. В зависимости от свойств пенообразователя минимальная толщина слоя пены кратностью 60 ед. составляет от 6 до 9 см. В результате анализа экспериментальных исследований и установлено изменение коллоидно-химических свойств рабочего раствора пенообразователя в процессе его хранения и эксплуатации. Повышение коэффициента растекания дизельного топлива по поверхности рабочего раствора пенообразователя сопровождается ростом требуемой толщины пенного слоя и удельного расхода. При этом повышение коэффициента растекания на каждые 5 мН/м приводит к необходимости повышения требуемой минимальной толщины пенного слоя на 30 %. Таким образом, при использовании экологически чистых биоразлагаемых пенообразователей типа S требуется ежегодная оценка коллоидно-химических свойств рабочих растворов для предотвращения неудачного тушения пожаров горючих жидкостей в городах и иных населенных пунктах.

## Литература

1. Шароварников, А.Ф. Тушение пожаров нефти и нефтепродуктов [Текст] / А. Ф. Шароварников, В.П. Молчанов, С.С. Воевода, С.А. Шароварников. – М.: Калан, 2002. – 448 с.

2. Шароварников, А.Ф. Пенообразователи и пены для тушения пожаров. Состав, свойства и применение [Текст] / А. Ф. Шароварников, С.А. Шароварников. –М.: Пожнаука, 2005. – 335с.

3. Федеральный закон «О ратификации Стокгольмской конвенции о стойких органических загрязнителях [Текст]: Федер. закон: принят Гос. Думой 17 июня 2011 г. № 164-ФЗ // Рос. газета. – 2011. – 29 июня. Федеральный выпуск №5514 – полоса 21.

4. ГОСТ 32509–2013. Вещества поверхностно-активные. Метод определения биоразлагаемости в водной среде [Текст]. – Введ. 01.05.2019 г. – М.: Стандартиформ, 2019. – 25 с.

5. ГОСТ Р 50588–2012. Пенообразователи для тушения пожаров. Общие технические требования и методы испытаний [Текст]. – Введ. 01.09.2012 г. – М.: Стандартиформ, 2012. – 28 с.