

ОСОБЕННОСТИ ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ ПЕНООБРАЗУЮЩИХ СИСТЕМ ПРИ ЛИКВИДАЦИИ ПОЖАРОВ НА ТАНКЕРАХ

И. Д. Мехдиев, А. А. Еришов

*Государственный университет морского и речного флота
им. адмирала С. О. Макарова, Санкт-Петербург, Российская Федерация*

Рассмотрены средства для борьбы с пожарами на танкерах, перевозящих нефтепродукты. В качестве эффективных средств для борьбы с пожарами на танкерах представлены пенные гидромониторы, приведены их положительные и отрицательные стороны при использовании на судах торгового флота. Выполнен ряд экспериментов для получения адекватных моделей теплозащитных свойств пенопленок. Представлены исследования по современным пенообразующим системам, которые активно применяются на судах, перевозящих нефтепродукты, при ликвидации пожаров. Проанализированы критерии, которые следует учитывать для получения модели теплозащитного действия пенообразующих средств. Смоделирована модель теплозащитного действия пенообразующих средств. За основной пенообразующий элемент выбран силикат натрия. После использования в разных концентрациях силикат натрия был соединен с разными пробами морской воды (из Мертвого, Черного и Средиземного морей). При смешивании пенообразователя с массовым содержанием 2,5 % с водой из Черного и Средиземного морей объем получаемой пены составляет менее 30 %. Сделан вывод о перспективности использования морской воды в качестве катализатора пенообразования для бинарных пенообразующих систем. На фрагментах листового элемента стенки резервуаров стали марки СтЗ толщиной 5 мм проведен эксперимент по определению показателя коррозионной активности. Определена средняя скорость потери массы с единицы площади металлических пластин при их экспонировании в исследуемом водном растворе. Обоснована перспективность использования морской воды в качестве катализатора пенообразования для бинарных пенообразующих систем.

Ключевые слова: пожар, танкер, пенообразующая система, охлаждение, тушение, коррозия, катализатор.

Для цитирования: Мехдиев И. Д., Еришов А. А. Особенности теплозащитных свойств пенообразующих систем при ликвидации пожаров на танкерах // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. 2021. № 1. С. 18–23. DOI: 10.24143/2073-1574-2021-1-18-23.

Введение

В мире каждый четвертый пожар на судах, перевозящих нефтепродукты, носит затяжной характер и заканчивается полным выгоранием нефтепродуктов, перевозимых в грузовых танках [1, 2]. Это свидетельствует как о серьезных недостатках при организации пожаротушения, так и о недостаточной эффективности существующих огнетушащих веществ, тактики их применения и способов подачи.

Коэффициент использования воды на пожаре по разным данным составляет от 2 до 20 %. Во многом это определяется потерями за счет стекания воды с вертикальных поверхностей, что особенно актуально при организации тушения пожаров при недостаточном количестве сил и средств на танкере. В работе [3] установлено, что для ликвидации пожара эффективно использовать последовательно-раздельную подачу компонентов пенообразующей системы (ПОС). Проведено теоретико-экспериментальное исследование [4] процесса подачи и траектории потока струй огнетушащего вещества автономной установкой тушения пенообразующими составами. В настоящем исследовании предложена методика имитационных экспериментальных исследований гидродинамики составляющих потока огнетушащего состава.

Анализ известных пожаров в резервуарных танках на судах, перевозящих нефтепродукты, доказал, что при взрыве и под тепловым воздействием установки на горящих танках выходят из строя [2, 3]. Таким образом, средства для борьбы с пожаром могут быть применены только для

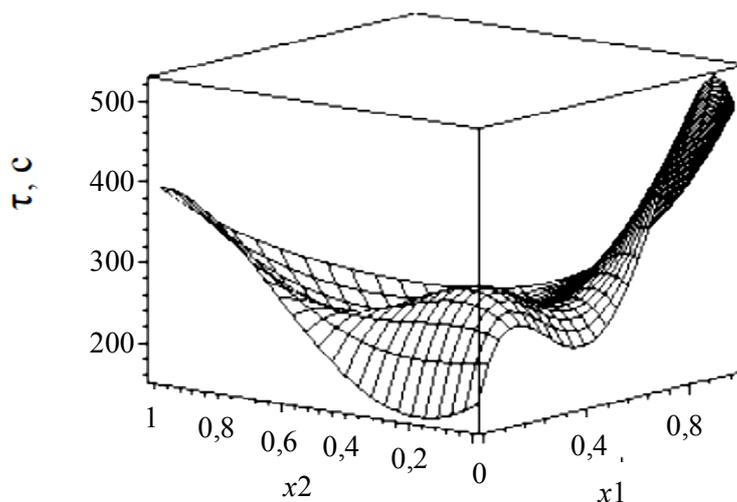
охлаждения соседних грузовых танков. Но далеко не все грузовые танки оборудованы подобными системами для борьбы с пожарами, а существующие часто находятся в неудовлетворительном состоянии. Поскольку вследствие воздействия морской среды многие гидромониторы выходят из строя, т. к. не все изготовлены из качественной нержавеющей стали, происходит быстрый износ материала, в последующем приводящий устройство к нерабочему состоянию [3]. Использование гидромониторов позволяет подавать воду на большую дальность и под нужным углом, что обеспечивает максимальную безопасность личного состава [3]. Гидромониторы расположены на борту судна так, что каждый монитор перекрывает зону другого. К недостаткам относится высокая стоимость установки. Для гладких непротитывающихся материалов удерживается лишь $\sim 0,1 \text{ кг/м}^2$ воды [5]. К тому же при нанесении воды на разогретую поверхность между каплями воды и поверхностью материала образуется паровая пленка (эффект Лейденфроста), вследствие чего затрудняется теплообмен [6]. Тепловое воздействие пожара на резервуар с нефтепродуктами приводит к нагреву сухой стенки резервуара (части стенки, не соприкасающейся с нефтепродуктом) и нагреву смоченной стенки резервуара (части стенки, соприкасающейся с нефтепродуктом). Нагрев сухой стенки может привести к взрыву резервуара или воспламенению паров, выходящих из нее; нагрев смоченной стенки – к кипению нефтепродукта в пристеночном слое. В сочетании с нагревом сухой стенки до температуры самовоспламенения это может способствовать взрыву или воспламенению паров нефтепродукта [5].

Цель настоящей работы – исследование особенностей теплозащитных свойств ПОС при ликвидации пожаров на танкерах.

Материалы исследования и обсуждение результатов

Проведем ряд экспериментов для получения адекватных моделей теплозащитных свойств пенопленок. Важным условием проведения такого рода эксперимента является использование теплового потока, адекватного реальным значениям.

Проведем анализ критериев, которые необходимо учитывать при моделировании теплозащитного действия ПОС. В работе [6] на образцах из древесины определено теплозащитное действие ПОС при толщине слоя $1,5\text{--}2 \text{ л/м}^2$. В основу модели теплозащитного действия ПОС положено время достижения обогреваемой поверхности образца из древесины до температуры $200 \text{ }^\circ\text{C}$. Среднее время достижения критической температуры необработанных образцов составляло 106 с ; образцов, обработанных водой методом погружения, – 230 с , а нанесение ПОС на образцы позволило увеличить время повышения температуры с 200 до $470 \text{ }^\circ\text{C}$ (рис.).



Поверхность отклика времени теплозащитного действия от массового содержания катализатора пенообразования (x_1) и пенообразователя (x_2) для системы $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,95\text{SiO}_2 - \text{CaCl}_2$ [5]

В работе [1] приводятся данные изменения температуры сухой стенки цистерны объемом 30 м^3 с бензином, заполненной на 0,1 %. При мощности теплового потока 25 кВт/м^2 стенка резервуара достигает температуры самовоспламенения бензина ($250 \text{ }^\circ\text{C}$) через 4 мин; при мощности теплового потока 50 кВт/м^2 – уже через 1 мин. При реальном пожаре на танкере даже средний тепловой поток не может быть достоверно известен, поэтому время достижения критической температуры может оказаться неточным.

Области пенообразования установлены для большого количества ПОС (табл. 1) [5].

Таблица 1

**Значение минимальных концентраций пенообразователя (ω_1)
и катализатора пенообразования (ω_2)**

ПОС	ω_1 , мас. %	ω_2 , мас. %
$\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2 - \text{CaCl}_2$	3	4
$\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2 - \text{MgCl}_2$	5	4
$\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2 - \text{MgSO}_4$	5	4
$\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2 - \text{FeSO}_4$	5	8
$\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2 - \text{FeCl}_3$	7	3
$\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2 - \text{AlCl}_3$	3,5	3
$\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2 - \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	4	8
$\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2 - \text{NH}_4\text{Cl}$	8	12
$\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2 - (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	8	12
$\text{CaCl}_2 - \text{MgSO}_4$	16	20

Данные системы имеют один общий недостаток, который в известной степени ограничивает их практическое применение. При ликвидации пожара необходимо иметь достаточный запас готового катализатора пенообразования – водного раствора соли. Оперативное пополнение запасов данного компонента ПОС вызывает трудности организационно-технического характера.

Методология исследования ПОС включает в себя несколько этапов, на каждом из которых менее перспективные системы отсеивались. Первый этап – определение возможности пенообразования системы проводилось лабораторным методом. Дальнейшие эксперименты по тушению и «оперативной огнезащите» проводились на системах, которые были определены как перспективные. Эксперимент осуществляли с пробами морской воды в неразбавленном виде. В качестве пенообразователя был выбран силикат натрия:

– $\text{Na}_2\text{O} \cdot 3\text{SiO}_2 - 36 \%$ (раствор с верхней границей пенообразования, установленной для ПОС $\text{Na}_2\text{O} \cdot 3\text{SiO}_2 - \text{CaCl}_2$);

– $\text{Na}_2\text{O} \cdot 3\text{SiO}_2 - 16,56 \%$ (раствор со средним значением концентрации пенообразования, установленной для ПОС $\text{Na}_2\text{O} \cdot 3\text{SiO}_2 - \text{CaCl}_2$);

– $\text{Na}_2\text{O} \cdot 3\text{SiO}_2 - 2 \%$ (раствор с нижней границей пенообразования, установленной для ПОС $\text{Na}_2\text{O} \cdot 3\text{SiO}_2 - \text{CaCl}_2$).

Результаты исследования представлены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты пенообразования $\text{Na}_2\text{O} \cdot 3\text{SiO}_2$ и морской воды

Массовое содержание $\text{Na}_2\text{O} \cdot 3\text{SiO}_2$, %	Вода Мертвого моря	Вода Черного моря (район г. Феодосии)	Вода Средиземного моря (район о. Кипр)
37	Пена составляет более 96 % объема	Пена составляет более 82 % объема	Пена составляет более 82 % объема
17	Пена составляет более 72 % объема	Пена составляет более 61 % объема	Пена составляет более 61 % объема
2,5	Пена составляет более 51 % объема	Пена составляет менее 32 % объема	Пена составляет менее 32 % объема

При смешивании пенообразователя с массовым содержанием 2,5 % с водой из Черного и Средиземного морей объем получаемой пены составляет менее 30 %, что исключает возможность практического применения данных составов.

Аналогично работе [6] эксперимент по определению показателя коррозионной активности (ПКА) проводился на фрагментах листового элемента стенки резервуаров стали марки Ст3

толщиной 5 мм [4]. Метод заключается в определении средней скорости потери массы с единицы площади металлических пластин при их экспонировании в исследуемом водном растворе (время экспонирования пластин – 30 сут).

Средняя удельная скорость потери массы пластины V_n , кг/(м²·с), рассчитывалась по формуле

$$V_n = \frac{P}{S}t,$$

где P – потеря массы пластины, кг; S – площадь поверхности контакта пластины с раствором огнетушащего вещества, м²; t – длительность экспозиции пластины в растворе огнетушащего вещества ($t = 2\ 600\ 000$ с).

За результат определения ПКА принималось среднее арифметическое значение результатов двух параллельных измерений. Допустимое расхождение между результатами параллельных измерений не превышало ±10 % относительно среднего арифметического значения.

Результаты исследований по определению ПКА исследуемых огнетушащих веществ приведены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты исследований по определению ПКА исследуемых огнетушащих веществ

Огнетушащее вещество	В кг/(м ² ·с)	В г/(м ² ·год)
CaCl ₂ – 42 %	1,77389 · 10 ⁻⁸	560
Гелеобразующая огнетушащая составляющая Na ₂ O · 3SiO ₂ – 3,63 %, CaCl ₂ – 7,79 %	2,2823 · 10 ⁻⁸	720
Концентрат пенообразователя ППЛВ (Универсал) – 106 м	2,43777 · 10 ⁻⁸	770
ПОС Na ₂ O · 3SiO ₂ – 16,56 %, CaCl ₂ – 2,76 %	2,78468 · 10 ⁻⁸	880
ПОС Na ₂ O · 3SiO ₂ – 16,56 % – морская вода (Черное море, район г. Феодосии)	1,69545 · 10 ⁻⁸	535
Морская вода (Черное море, район г. Феодосии)	2,62741 · 10 ⁻⁸	830
Морская вода (Средиземное море, район о. Кипр)	2,54974 · 10 ⁻⁸	805
Морская вода (Мертвое море)	2,81997 · 10 ⁻⁸	890

Перед проведением экспериментов был установлен водородный показатель (рН) исследуемых компонентов ПОС. Для раствора Na₂O · 3SiO₂ – рН = 12; воды Мертвого моря – рН = 4; Черного моря – рН = 4,5; Средиземного моря – рН = 5. Коррозионная активность зависит от водородного показателя (рН) среды. При рН = 10 скорость коррозии снижается, т. к. происходит пассивация железа в щелочных растворах [6].

Заключение

Результаты исследований подтвердили гипотезу о возможности использования морской воды в качестве катализатора пенообразования. Установлено, что коррозионные свойства ПОС Na₂O · 3SiO₂ – 16,56 % – морская вода (Черное море, район г. Феодосии) – на 30 % ниже, чем у концентрата пенообразователя ППЛВ (Универсал) – 106 м. Полученные данные свидетельствуют о перспективности использования морской воды в качестве катализатора пенообразования для бинарных ПОС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жуйков Д. А., Старков Н. Н., Триполицын А. А. Повышение эффективности применения мобильных средств пожаротушения с использованием компрессионной пены для обеспечения пожарной безопасности объектов военной инфраструктуры и воинских подразделений // Воен. инженер. 2019. № 3 (13). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/povyshenie-effektivnosti-primeneniya-mobilnyh-sredstv-pozharotusheniya-s-ispolzovaniem-kompressionnoy-peny-dlya-obespecheniya> (дата обращения: 09.11.2020).
2. Калач А. В., Гусаков А. Н., Шаранов С. В. К вопросу о совершенствовании технологии и техники пенного пожаротушения // Пожаровзрывобезопасность. 2017. № 1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/k-voprosu-o-sovershenstvovanii-tehnologii-i-tehniki-pennogo-pozharotusheniya> (дата обращения: 09.11.2020).
3. Касторных А. В., Кузовлев А. В. Современные методы тушения складов нефтепродуктов // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. 2018. № 9. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennyye-metody-tusheniya-skladov-nefteproduktov> (дата обращения: 09.11.2020).

4. Савельев Д. И., Киреев А. А., Жерноклев К. В. Повышение эффективности использования гелеобразующих составов при борьбе с низовыми лесными пожарами // Проблемы пожарной безопасности: сб. науч. тр. 2016. Вып. 39. С. 237–242.
5. Савченко О. В., Стецюк С. Г., Островерх О. О., Иванець Г. В. Обґрунтування використання гелеутворюючих систем для запобігання надзвичайних ситуацій на складах зберігання артилерійських боєприпасів // Проблеми надзвичайних ситуацій: сб. науч. тр. 2015. Вып. 22. С. 106–112.
6. Сенчихин Ю. Н., Сыровой В. В., Остапов К. М. Тактика подачи потока струй огнетушащих составов установками типа АУТГОС // Проблемы пожарной безопасности: сб. науч. тр. 2017. Вып. 41. С. 168–176.

Статья поступила в редакцию 12.11.2020

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Мехдиев Ильяс Джанали оглы – Россия, 198035, Санкт-Петербург; Государственный университет морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова; аспирант кафедры маневрирования и управления судном; iliasmekhdiev35@gmail.com.

Ершов Андрей Александрович – Россия, 198035, Санкт-Петербург; Государственный университет морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова; д-р техн. наук, доцент; профессор кафедры маневрирования и управления судном; ershov_63@mail.ru.



CHARACTERISTICS OF HEAT PROTECTION PROPERTIES OF FOAM FORMING SYSTEMS IN FIGHTING FIRES ON TANKERS

I. D. Mekhdiev, A. A. Ershov

*Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping,
Saint-Petersburg, Russian Federation*

Abstract. The article considers means of fighting fires on tankers carrying oil products. The foam hydro monitors are considered the effective means for fighting a fire on tankers, their positive and negative sides are described after using on the merchant ships. A number of experiments have been carried out to obtain adequate models of the heat-shielding properties of foamed films. Investigations on modern foam-forming systems, which are actively used on ships carrying oil products during fire extinguishing are presented. The criteria have been analyzed that should be taken into account to obtain a model of the heat-shielding action of foaming agents. A model of heat protective effect of foaming agents has been modeled. Sodium silicate was chosen as the main foaming element. After using sodium silicate in different concentrations, it was combined with different samples of seawater (from the Dead Sea, the Black Sea and the Mediterranean Sea). When mixing a foaming agent with a mass content of 2.5% with water from the Black and Mediterranean Seas, the volume of the obtained foam makes less than 30%. It has been inferred that using seawater as a foaming catalyst for binary foaming systems is available. There was conducted an experiment for determination of corrosion which was carried out using fragments of the walls of tanks made of steel grade Ст 3 with 5 mm thick. There has been defined the average rate of weight loss per unit area of metal plates when they are exposed in the investigated aqueous solution. There has been substantiated availability of using sea water as a foam catalyst for binary foam-forming systems.

Key words: fire, tanker, foaming system, cooling, extinguishing, corrosion, catalyst.

For citation: Mekhdiev I. D., Ershov A. A. Characteristics of heat protection properties of foam forming systems in fighting fires on tankers. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine Engineering and Technologies.* 2021;1:18-23. (In Russ.) DOI: 10.24143/2073-1574-2021-1-18-23.

REFERENCES

1. Zhuikov D. A., Starkov N. N., Tripolitsyn A. A. Povyshenie effektivnosti primeneniia mobil'nykh sredstv pozharotusheniia s ispol'zovaniem kompressionnoi peny dlia obespecheniia pozharnoi bezopasnosti ob'ektov voennoi infrastruktury i voinskikh podrazdelenii [Increasing efficiency of using mobile fire extinguishing means with compression foam to ensure fire safety of military infrastructure and military units]. *Voenniye inzhener*, 2019, no. 3 (13). Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/povyshenie-effektivnosti-primeneniya-mobilnyh-sredstv-pozharotusheniya-s-ispolzovaniem-kompressionnoy-peny-dlya-obespecheniya> (accessed: 09.11.2020).
2. Kalach A. V., Gusakov A. N., Sharapov S. V. K voprosu o sovershenstvovanii tekhnologii i tekhniki pennogo pozharotusheniia [On problem of improving technology and techniques of foam fire extinguishing]. *Pozharovzryvbezopasnost'*, 2017, no. 1. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/k-voprosu-o-sovershenstvovanii-tehnologii-i-tehniki-pennogo-pozharotusheniya> (accessed: 09.11.2020).
3. Kastornykh A. V., Kuzovlev A. V. Sovremennye metody tusheniia skladov nefteproduktov [Modern methods of extinguishing warehouses with oil products]. *Pozharnaiia bezopasnost': problemy i perspektivy*, 2018, no. 9. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennye-metody-tusheniya-skladov-nefteproduktov> (accessed: 09.11.2020).
4. Savel'ev D. I., Kireev A. A., Zhernoklev K. V. Povyshenie effektivnosti ispol'zovaniia geleobrazuiushchikh sostavov pri bor'be s nizovymi lesnymi pozharemi [Increasing efficiency of using gel-forming compounds in fight against grass-roots forest fires]. *Problemy pozharnoi bezopasnosti: sbornik nauchnykh trudov*, 2016, iss. 39, pp. 237-242.
5. Savchenko O. V., Ctetsiuk E. I., Ostroverkh O. O., Ivanets' G. V. Obruntuvannia vikoristannia geleutvoriuichikh sistem dlia zapobigannia nadzvichainikh situatsii na skladakh zberigannia artilerii'skikh boeprispasiv [Rationale for using gelling systems to prevent emergencies in artillery ammunition depots]. *Problemi nadzvichainikh situatsii: sbornik nauchnykh trudov*, 2015, iss. 22, pp. 106-112.
6. Senchikhin Iu. N., Syrovoi V. V., Ostapov K. M. Taktika podachi potoka strui ognetushashchikh sostavliaiushchikh ustanovkami tipa AUTGOS [Tactics of supplying flow of jets of fire-extinguishing components by units of AUTGOS type]. *Problemy pozharnoi bezopasnosti: sbornik nauchnykh trudov*, 2017, iss. 41, pp. 168-176.

The article submitted to the editors 12.11.2020

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Mekhdiev Ilias Djanaly ogly – Russia, 198035, Saint-Petersburg; Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping; Postgraduate Student of the Department of Maneuvering and Ship Control; iliasmekhdiev35@gmail.com.

Ershov Andrey Aleksandrovich – Russia, 198035, Saint-Petersburg; Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping; Doctor of Technical Sciences, Assistant Professor; Professor of the Department of Maneuvering and Ship Control; ershov_63@mail.ru.

