

Научная статья

УДК 614.84

СНИЖЕНИЕ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ ПРИ ХРАНЕНИИ НЕФТЕПРОДУКТОВ В ПОЛИМЕРНЫХ ЭЛАСТИЧНЫХ РЕЗЕРВУАРАХ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ НАНОУГЛЕРОДНЫМИ КОМПОНЕНТАМИ

✉ Самигуллин Гафур Халафович;

Захаров Александр Евгеньевич.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия

✉ samigullin.g@igps.ru

Аннотация. Расширение номенклатуры резервуаров для хранения нефти, нефтепродуктов и других легковоспламеняющихся и горючих жидкостей делает актуальной задачу снижения пожарной опасности нефтебаз и хранилищ. При использовании эластичных полимерных резервуаров решение данной задачи возможно путем повышения стойкости к воздействию высоких температур (термостабильности) и обеспечения прочности полимерных композитов. С этой целью производилось компаундирование полимеров углеродными наноструктурами (астраленами) и проводилась экспериментальная оценка их влияния на повышение термостабильности и механической прочности материалов стенок полимерных эластичных резервуаров.

Исследования проводились методом синхронного термического анализа (включающего термогравиметрический, дифференциально-термогравиметрический методы) и методом механических испытаний одноосным растяжением статической нагрузкой до разрушения с определением предела прочности и модуля Юнга. Было установлено, что для исходных полимерных материалов при температуре 800 °С потеря массы составила свыше 95 %, а для модифицированных образцов (концентрация астраленов 10 % масс.) достигла порядка 70 % масс. Предел прочности и модуль упругости образцов с астраленами повысились в сравнении с исходным материалом в 2,8 и 3,2 раза соответственно.

Ключевые слова: эластичные полимерные резервуары, астралены, нефть, нефтепродукты, термостабильность, термический анализ, механические испытания, предел прочности, модуль Юнга

Для цитирования: Самигуллин Г.Х., Захаров А.Е. Снижение пожарной опасности при хранении нефтепродуктов в полимерных эластичных резервуарах, модифицированных нанокarbonными компонентами // Проблемы управления рисками в техносфере. 2023. № 2 (66). С. 148–158.

Scientific article

REDUCTION OF FIRE HAZARD WHEN STORING PETROLEUM PRODUCTS IN POLYMERIC ELASTIC TANKS MODIFIED WITH NANOCARBON COMPONENTS

✉ Samigullin Gafur Kh.;

Zakharov Alexandr E.

Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia

✉ samigullin.g@igps.ru

Abstract. The expansion of nomenclature of tanks for storage of oil, petroleum products and other flammable and combustible liquids makes the task of reducing the fire hazard of oil depots

and storage facilities urgent. When using flexible polymeric tanks the decision of this task is possible by means of increasing resistance to the influence of high temperatures (thermal stability) and ensuring strength of polymeric composites. For this purpose, polymers were compounded with carbon nanostructures (astralenes) and their influence on increasing thermal stability and mechanical strength of polymer elastic tank walls materials was experimentally evaluated.

Researches have been carried out by a method of simultaneous thermal analysis (including thermogravimetric, differential-thermogravimetric methods) and by mechanical tests by uniaxial tension with static load until failure with determination of ultimate strength and Young's modulus. It was found that for the original polymeric materials at temperature 800 °C mass loss was over 95 %, and for modified samples (10 % wt.% astralenes concentration) reached about 70 % wt.%. The tensile strength and modulus of elasticity of samples with astralenes increased compared to the original material by 2,8 and 3,2 times, respectively.

Keywords: elastic polymeric tanks, astralenes, petrol, petroleum products, thermal stability, thermal analysis, mechanical tests ultimate strength, Young's modulus

For citation: Samigullin G.Kh., Zakharov A.E. Reduction of fire hazard when storing petroleum products in polymeric elastic tanks modified with nanocarbon components // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2023. № 2 (66). P. 148–158.

Введение

В современных условиях динамичного развития производственных мощностей возникает насущная необходимость развития материально-технической базы промышленных предприятий и внедрение прогрессивных решений в сфере энергоснабжения. В нефтегазовой сфере все большее применение находит применение полимерных материалов для транспортирования и хранения горючих газов, нефти и нефтепродуктов, например, полимерных трубопроводов, емкостей и резервуаров [1, 2]. Наряду с неоспоримыми преимуществами, такими как: высокая коррозионная стойкость, долговечность, экономичность, простота установки (монтажа) и применения, резервуары для нефти и нефтепродуктов имеют существенные недостатки – это их горючесть и низкие прочностные характеристики [1, 3]. Но при этом ГОСТ 1510–2022 допускает применение эластичных полимерных резервуаров (ЭПР) для хранения ряда нефтепродуктов наравне со стальными вертикальными резервуарами типа РВС [4, 5]. С учетом того факта, что на нефтегазовых объектах только за 2021 г. произошло 42 пожара с материальным ущербом более 5 млн руб. [6], актуальной является задача снижения пожарной опасности при хранении нефти и нефтепродуктов в ЭПР.

Решение данной задачи может быть достигнуто за счет повышения эксплуатационных свойств ЭПР – термостабильности и прочности их стенки путем модифицирования полимерных материалов с добавкой нанокремниевых структур – астраленов. О перспективности такого подхода свидетельствует значительное количество публикаций в области обеспечения пожарной безопасности. Применение астраленов с точки зрения улучшения свойств различных материалов был рассмотрен в различных научных работах [7–12].

При заполнении эластичных полимерных резервуаров нефтепродуктами основными показателями безопасности будут: механическая прочность мягких резервуаров как основной показатель, который обеспечивает герметичность материала при нормальных условиях эксплуатации, а также термостабильность, которая сохранит материал верха от разрушения при воздействии высоких температур.

В связи с этим в данной работе решалась задача по проведению экспериментальной оценки влияния нанокремниевых структур астралена на улучшение эксплуатационных характеристик: термической стойкости и прочности полимерных композитов, применяемых для изготовления эластичных резервуаров для хранения нефти и нефтепродуктов.

Материалы и методы исследования

Для экспериментального изучения вопросов повышения термостабильности и прочности материалов, из которых изготавливаются большинство ЭПР резервуаров, в качестве модельного вещества был использован полимерный композитный материал для горячей вулканизации марки Rema TIP-TOP Solution MTR. Данный композит имеет в своем составе такие соединения, как: этилацетат, углеводороды C₆-C₇, n- и изоалканы, циклические соединения, оксид цинка и циклогексилэтиламин [13]. Выбор модельного вещества был обусловлен широким компонентным составом, схожестью механических характеристик и схожим поведением с полимерными композициями при воздействии повышенных температур, а также простотой внедрения в их состав наночастиц углеродных частиц (астраленов). Методика подготовки образцов с различной концентрацией наночастиц приведена в работе [2]. Использованный для улучшения эксплуатационных свойств композитного материала астрален представляет из себя пространственные углеродные образования «фуллероидного» типа, имеющего многослойную структуру, межслоевое расстояние составляет 0,34–0,35 нм, усредненный оценочный размер частиц 60–200 нм, насыпная плотность астраленов составляет 0,6–0,8 г/см³, «...показатель пикнометрической плотности 2,2±0,1 г/см³ и термобароустойчивость к графитизации при 3 000 °С не менее 50 КБар...» [14].

Экспериментальные исследования проводились в два этапа. На первом этапе проводилась оценка термостабильности модельных образцов методом термического анализа, включающего методы: термогравиметрический (ТГ) и дифференциально-термогравиметрический (ДТГ), а также метод дифференциально-термического анализа (ДТА), который заключается в нагревании или охлаждении образца с определенной скоростью и записи временной зависимости разницы температур между исследуемым образцом и образцом эталоном [15].

На втором этапе проводились механические испытания одноосным растяжением модельных образцов до разрушения статической нагрузкой с определением предела прочности, степени удлинения при разрыве и модуля упругости.

Основная идея проводимого на первом этапе эксперимента заключалась в постепенном нагреве образцов исходного (без модифицирующего компонента) и концентрацией астралена 10 % масс. до температуры 1 000 °С с шагом нагрева 10 °С/мин в воздушной атмосфере и последующим проведением сравнительного анализа сведений по потере массы. Для этого был использован прибор синхронного термического анализа NETZSCH STA 449 F3 Jupiter [16], который позволяет улавливать изменение массы исследуемого образца, скорости изменения массы и параметры эндо- и экзотермических процессов в зависимости от изменения температуры во времени при нагревании.

Указанные показатели, характеризующие термостойкость полимеров при различной концентрации астраленов, были получены путем лабораторных испытаний в соответствии с требованиями ГОСТ Р 53293–2009 «Пожарная опасность веществ и материалов. Материалы, вещества и средства огнезащиты. Идентификация методами термического анализа» [17].

На втором этапе были проведены исследования физико-механических характеристик, которые обуславливают прочностные свойства материалов – предел прочности, удлинение при разрыве и модуль Юнга [18]. Данные показатели определяются путем лабораторных испытаний до разрушения на разрывных машинах по методикам испытаний, которые соответствуют требованиям стандартов ГОСТ 14236–81 «Пленки полимерные. Метод испытания на растяжение» и ГОСТ 11262–2017 «Пластмассы. Метод испытания на растяжение» [19–21]. Образцы для испытаний были подготовлены с учетом требований ГОСТ 12423–2013 «Пластмассы. Условия кондиционирования и испытания образцов (проб)» [22]. Для упругих и эластичных материалов, к которым относятся испытываемые образцы, типичный вид диаграммы растяжения приведен на рис. 1.

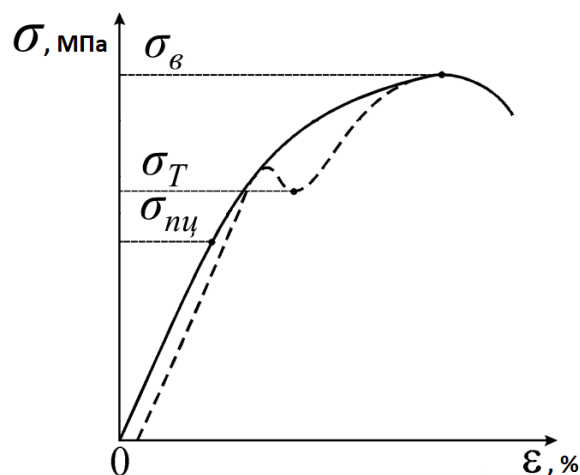


Рис. 1. Диаграмма растяжения эластичных материалов: ε – относительные деформации, %; σ_b – предел прочности, МПа; $\sigma_{пц}$ – предел пропорциональности, МПа; σ_T – предел текучести, МПа

Для проведения механических испытаний путем растяжения статической нагрузкой до разрушения образцов была использована разрывная машина электромеханического типа Instron 5966 с пределом точности датчика нагрузки 1 кН [23].

Результаты исследования и их обсуждение

Полученные результаты исследований методом термического анализа приведены на рис. 2 и в табл. 1.

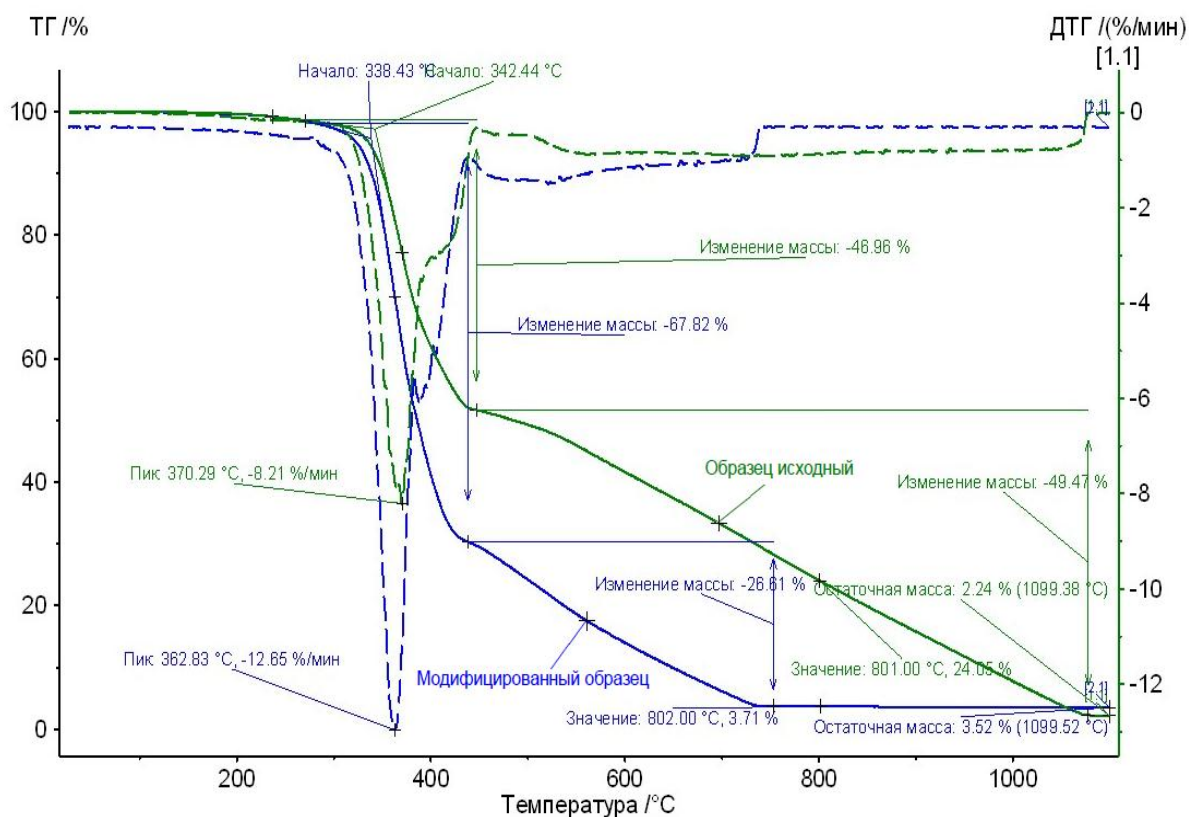


Рис. 2. Термограммы ТГ и ДТГ исследуемых образцов

Из рис. 2 видно, что модификация исходного образца астраленами влияет на скорость разложения материала в диапазоне температур 330–450 °С и на динамику разложения при нагреве выше 450 °С. Для немодифицированного образца процессы разложения полностью завершаются при 802 °С, зольный остаток при этом составляет 3,52 % от начальной массы. Модифицированный образец при той же температуре сохраняет 25–30 % исходной массы.

Таблица 1

Результаты исследования термогравиметрическим (ТГ-ДТГ) методом

| | | | | | | | | | |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Потеря массы [%] | 95 | 90 | 80 | 70 | 60 | 50 | 40 | 30 | 20 |
| Температура °С (образец исходный) | 336 | 350,6 | 366,4 | 381 | 405,7 | 485,6 | 619,5 | 734,5 | 848,8 |
| Температура °С (модифицированный образец) | 323,4 | 338,9 | 353 | 362,9 | 372,6 | 386 | 402 | 443,2 | 537,4 |

Как правило, реактопласты разлагаются в два этапа: образование угольного (коксового) остатка и его последующее выгорание. На рис. 3 видно, что для обоих образцов термоокислительная деструкция начинается при температуре порядка 340 °С, процесс завершается при 430–440 °С. Выгорание угольного остатка образца, содержащего астралены, судя по потере массы, продолжается вплоть до 1 100 °С, что, возможно, связано с разложением модифицирующей добавки. Более детально разобрать характеристики поведения материалов при нагреве можно, сопоставляя данные потери массы образцов с результатами дифференциального термического анализа (рис. 3).

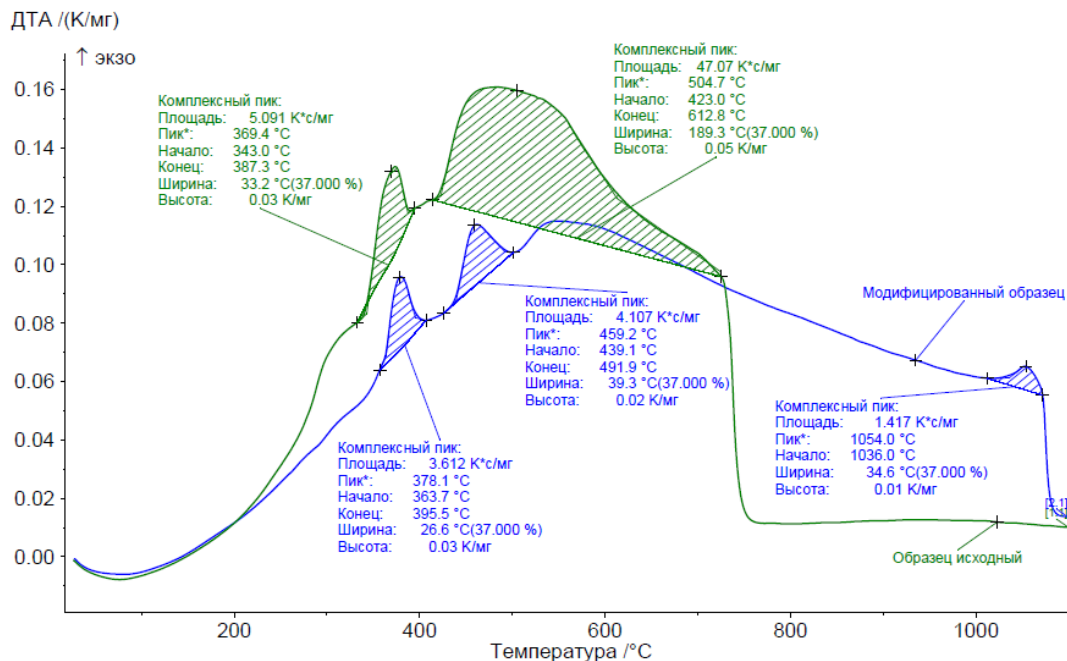


Рис. 3. Кривые ДТА образцов

Первый этап разложения для образцов характеризуется экзотермическим пиком на кривой ДТА. Основные различия проявляются в тепловых эффектах, фиксируемых при нагреве образцов выше 450 °С. В исходном образце наблюдается экзотермический пик, который имеет максимум при температуре 504 °С. На кривых ДТА модифицированного астраленами образца при температуре нагрева выше 450 °С наблюдаются три экзотермических пика: при 459 °С, 550 °С и 1 054 °С соответственно. При этом даже при анализе первой

и второй производной полученной термограммы не удается четко зафиксировать температурные границы двух последних пиков. На кривой изменения массы в температурных диапазонах, соответствующих данным пикам, не наблюдается перегибов, связанных с началом или завышением химических процессов, что также не позволяет говорить о температурных границах, протекающих в материале изменений. Можно предположить, что в данной области накладываются тепловые эффекты нескольких процессов: как экзотермических, так и эндотермических. Тем не менее можно сказать, что для модифицированного образца наблюдается снижение теплового эффекта, что предположительно может быть объяснено влиянием термодеструкции астраленов, которые в чистом виде начинают терять массу при температуре 580 °С [24].

В результате проведенного исследования методом синхронного термического анализа можно сделать вывод, что модифицированный образец, компаундированный астраленами, показал положительные результаты в части снижения скорости термоокислительной деструкции на первом этапе разложения и интенсивности тепловыделения при последующей деструкции исследуемого образца.

Результаты оценки физико-механических свойств по результатам испытаний образцов на разрыв приведены в табл. 2 и на рис. 4, 5.

Таблица 2

Результаты механических испытаний на разрыв

| Концентрация астраленов, [% масс.] | Предел прочности, [МПа] | Удлинение при разрыве, [%] | Модуль Юнга, [МПа] |
|------------------------------------|-------------------------|----------------------------|--------------------|
| 0,0 | 0,27 | 285,50 | 1,07 |
| 0,1 | 0,29 | 234,700 | 0,94 |
| 1,0 | 0,33 | 244,32 | 1,42 |
| 10,0 | 0,76 | 363,17 | 3,41 |

Анализ приведенных результатов механических испытаний (табл. 2) свидетельствует о значительном изменении физико-механических характеристик образцов. Предел прочности с ростом концентрации астраленов монотонно возрастает от значения 0,274 МПа до 0,763 МПа. Показатель относительного удлинения при разрыве имеет более сложную зависимость, но в конечном итоге также увеличивается с 285 % до 363 %. При этом характерно, что модуль Юнга, характеризующий поведение материала образцов в упругой зоне диаграммы растяжения, увеличивается более чем в три раза. Изменения предела прочности R_s (МПа) и модуля упругости Юнга E (МПа), приведенные на рис. 4, 5, с высокой степенью достоверности описываются регрессионными уравнениями, полученными методом наименьших квадратов.

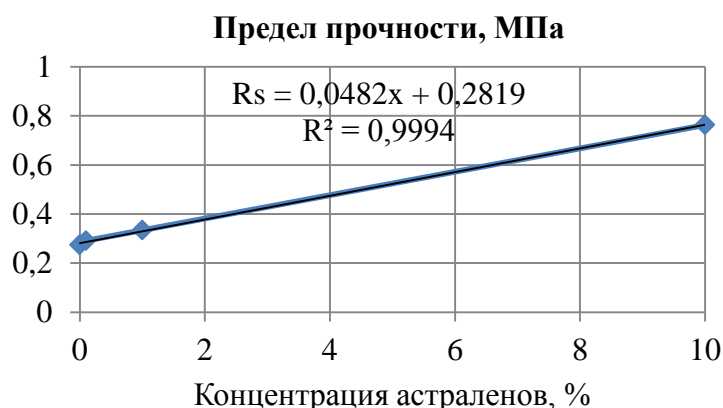


Рис. 4. Экспериментальная зависимость прочности образцов от концентрации астраленов

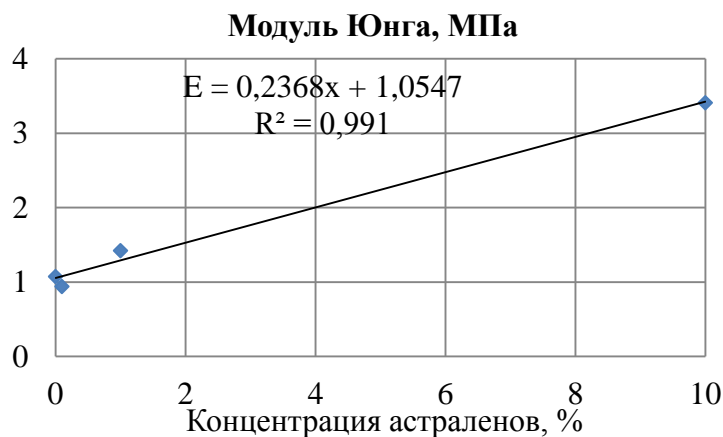


Рис. 5. Экспериментальная зависимость модуля Юнга от концентрации астраленов

Таким образом, в результате оценки физико-механических свойств экспериментальных образцов с различным содержанием углеродных наноконпонентов можно сделать вывод о том, что прочностные показатели – предел прочности и предел упругости полимерных композитных материалов увеличиваются в 2,8 и 3,2 раза пропорционально содержанию астраленов в диапазоне концентраций от 0 % до 10 % масс.

Заключение

Результаты проведенных исследований по снижению пожарной опасности при эксплуатации ЭПР путем модифицирования полимерных композитов астраленами показывают, что при увеличении концентрации наночастиц значительно улучшаются показатели термической стабильности полимеров, что видно по значениям остатка массы при высокотемпературной термодеструкции. Кроме того, положительное влияние модифицирующего компонента проявляется в кратном повышении физико-механических показателей прочности и упругости, что должно снизить частоту разгерметизации ЭПР. Таким образом, применение наночастиц углерода позволяет минимизировать негативные процессы в полимерных резервуарах при воздействии высоких температур, что способствует снижению пожарной опасности на объектах хранения нефти и нефтепродуктов.

Список источников:

1. Самигуллин Г.Х., Захаров А.Е. Оценка пожарного риска при использовании полимерных эластичных резервуаров для хранения нефти и нефтепродуктов // Проблемы управления рисками в техносфере. 2021. № 4 (60). С. 6–12.
2. Самигуллин Г.Х., Захаров А.Е. Снижение пожарной опасности при использовании полимерных эластичных резервуаров для хранения нефти и нефтепродуктов // Проблемы управления рисками в техносфере. 2023. № 1 (65). С. 8–16.
3. Прогнозирование дальности действия поражающих факторов и ресурса безопасной эксплуатации резервуаров, изготовленных из полимерного композитного материала, в условиях отрицательных температур / Н.С. Шириева [и др.] // Нефтегазовое дело. 2020. № 1. С. 53–72.
4. Шириева Н.С., Шириев А.К., Гляшева Р.Р. Оценка применения полевого склада горючего на базе эластичных резервуаров на восточно-таймырском лицензионном участке с учетом анализа риска // Нефтегазовое дело. 2017. № 3. С. 169–188.
5. ГОСТ 1510–2022. Межгосударственный стандарт. Нефть и нефтепродукты. Маркировка, упаковка, транспортирование и хранение // Электронный фонд правовой

- и нормативно-технической документации. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (дата обращения: 19.04.2023).
6. Пожары и пожарная безопасность в 2021 г.: статист. сб. Балашиха: ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2022. 114 с.
7. Thermal protection characteristics of polydimethylsiloxane-organoclay nanocomposite / Alex A. Smitha [et al.] // *Polymer degradation and stability*. 2017. Vol. 144. P. 281–291.
8. Thermal properties and flammability of nanocomposites based on diene rubbers and naturally occurring and activated halloysite nanotubes / P. Rybinski [et al.] // *J Therm Anal Calorim*. 2012. № 107. P. 1243–1249.
9. Chrissafis K., Bikiaris D. Can nanoparticles really enhance thermal stability of polymers? Part I: An overview on thermal decomposition of addition polymers // *Thermochimica acta*. 2011. № 523. P. 1–24.
10. Thermal stability and electrical behavior of polydimethylsiloxane nanocomposites with carbon nanotubes and carbon black fillers / M. Norkhairunnisa [et al.] // *Journal of composite materials*. 2011. № 46 (8). P. 903–910.
11. Prahdan B., Srivastava S.K. Synergistic effect of three dimensional multi-walled carbon nanotube/graphene nanofiller in enhancing the mechanical and thermal properties of high performance silicone rubber // *Indian institute of technology. India, Kharagpur*, 2014. 43 p.
12. Enhanced thermal stability of polychloroprene rubber composites with ionic liquid modified MWCNTs / K. Subramaniam [et al.] // *Polymer degradation and stability*. 2012. № 97. P. 776–785.
13. Паспорт безопасности, в соответствии с регламентом (ЕС) № 1907/2006 TИP TOP SOLUTION MTR. Код продукта: 00156-0098. 2018. 12 с.
14. Полиэдральные многослойные углеродные наноструктуры фуллероидного типа: пат. 2196731 С2 Рос. Федерация / А.Н. Пономарев, В.А. Никитин; заявитель и патентообладатель Закрытое акционерное общество АСТРИН (ЗАО АСТРИН) № 2000124887/11; опублик. 20.01.2003. 17 с.
15. Термический анализ при исследовании объектов судебной пожарно-технической экспертизы: учеб. пособие / М.Ю. Принцева [и др.]. СПб.: С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС России, 2018. 144 с.
16. Анализ и тестирование. URL: <https://analyzing-testing.netzsch.com/ru> (дата обращения: 03.04.2023).
17. ГОСТ Р 53293–2009. Пожарная опасность веществ и материалов. Материалы, вещества и средства огнезащиты. Идентификация методами термического анализа // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (дата обращения: 19.03.2023).
18. Феодосьев В.И. Сопротивление материалов: учеб. для ВТУЗов. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. 592 с.
19. Пленки полимерные. Метод испытания на растяжение. ГОСТ 14236–81 (СТ СЭВ 1490–79) // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (дата обращения: 19.03.2023).
20. Пластмассы. Метод испытания на растяжение ГОСТ 11262–2017 (ISO 527-2:2012) // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (дата обращения: 19.03.2023).
21. Standard test method for tensile properties of thin plastic sheeting. ASTM D882-18 // ASTM INTERNATIONAL. URL: astm.org/d882-18.html (дата обращения: 10.03.2023).
22. Пластмассы. Условия кондиционирования и испытания образцов (проб). ГОСТ 12423–2013 (ISO 291:2008) // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (дата обращения: 10.03.2023).
23. Научно-исследовательская лаборатория «Гибридные наноструктурные материалы». URL: <http://hybrid-nano-lab.misis.ru/equipments/eq-6.php> (дата обращения: 10.03.2023).
24. Иванов А.В. Тушение модельных очагов класса «В» наномодифицированными огнетушащими составами: закономерности и эффекты // *Техносферная безопасность*. 2022. № 4 (37). С. 34–44.

References

1. Samigullin G.H., Zaharov A.E. Ocenka pozharnogo riska pri ispol'zovanii polimernyh elastichnyh rezervuarov dlya hraneniya nefiti i nefteproduktov // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. 2021. № 4 (60). S. 6–12.
3. Prognozirovaniye dal'nosti dejstviya porazhayushchih faktorov i resursa bezopasnoj ekspluatatsii rezervuarov, izgotovlennyh iz polimernogo kompozitnogo materiala, v usloviyah otricatel'nyh temperatur / N.S. Shirieva [i dr.] // Neftegazovoe delo. 2020. № 1. S. 53–72.
4. Shirieva N.S., Shiriev A.K., Tlyasheva P.P. Openka primeneniya polevogo sklada goryuchego na baze elastichnyh rezervuarov na vostochno-tajmyrskom licenzionnom uchastke s uchetom analiza riska // Neftegazovoe delo. 2017. № 3. S. 169–188.
5. GOST 1510–2022. Mezhhosudarstvennyj standart. Neft' i nefteprodukty. Markirovka, upakovka, transportirovaniye i hraneniye // Elektronnyj fond pravovoj i normativno-tekhnicheskoy dokumentatsii. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (data obrashcheniya: 19.04.2023).
2. Samigullin G.H., Zaharov A.E. Snizheniye pozharnoj opasnosti pri ispol'zovanii polimernyh elastichnyh rezervuarov dlya hraneniya nefiti i nefteproduktov // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. 2023. № 1 (65). S. 8–16.
6. Pozhary i pozharnaya bezopasnost' v 2021 g.: statist. sb. Balashiha: FGBU VNIPO MCHS Rossii, 2022. 114 s.
7. Thermal protection characteristics of polydimethylsiloxane-organoclay nanocomposite / Alex A. Smitha [et al.] // Polymer degradation and stability. 2017. Vol. 144. P. 281–291.
8. Thermal properties and flammability of nanocomposites based on diene rubbers and naturally occurring and activated halloysite nanotubes / P. Rybinski [et al.] // J Therm Anal Calorim. 2012. № 107. P. 1243–1249.
9. Chrissafis K., Bikiaris D. Can nanoparticles really enhance thermal stability of polymers? Part I: An overview on thermal decomposition of addition polymers // Thermochimica acta. 2011. № 523. P. 1–24.
10. Thermal stability and electrical behavior of polydimethylsiloxane nanocomposites with carbon nanotubes and carbon black fillers / M. Norkhairunnisa [et al.] // Journal of composite materials. 2011. № 46 (8). P. 903–910.
11. Prahdan B., Srivastava S.K. Synergistic effect of three dimensional multi-walled carbon nanotube/graphene nanofiller in enhancing the mechanical and thermal properties of high performance silicone rubber // Indian institute of technology. India, Kharagpur, 2014. 43 p.
12. Enhanced thermal stability of polychloroprene rubber composites with ionic liquid modified MWCNTs / K. Subramaniam [et al.] // Polymer degradation and stability. 2012. № 97. P. 776–785.
13. Pasport bezopasnosti, v sootvetstvii s reglamentom (ES) № 1907/2006 TIP TOP SOLUTION MTR. Kod produkta: 00156-0098. 2018. 12 s.
14. Poliedral'nye mnogoslujnye uglerodnye nanostruktury fulleroidnogo tipa: pat. 2196731 S2 Ros. Federaciya / A.N. Ponomarev, V.A. Nikitin; zayavitel' i patentoobladatel' Zakrytoe akcionerное obshchestvo ASTRIN (ZAO ASTRIN) № 2000124887/11; opubl. 20.01.2003. 17 s.
15. Termicheskij analiz pri issledovanii ob"ektov sudebnoj pozharno-tekhnicheskoy ekspertizy: ucheb. posobie / M.YU. Princeva [i dr.]. SPb.: S.-Peterb. un-t GPS MCHS Rossii, 2018. 144 s.
16. Analiz i testirovaniye. URL: <https://analyzing-testing.netzsch.com/ru> (data obrashcheniya: 03.04.2023).
17. GOST R 53293–2009. Pozharnaya opasnost' veshchestv i materialov. Materialy, veshchestva i sredstva ognezashchity. Identifikaciya metodami termicheskogo analiza // Elektronnyj fond pravovoj i normativno-tekhnicheskoy dokumentatsii. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (data obrashcheniya: 19.03.2023).

24. Ivanov A.V. Tushenie model'nyh ochagov klassa «V» nanomodificirovannymi ognetushashchimi sostavami: zakonomernosti i efekty // Tekhnosfernaya bezopasnost'. 2022. № 4 (37). S. 34–44.

18. Feodos'ev V.I. Soprotivlenie materialov: uchebnik dlya VTUZov. M.: MGТУ im. N.E. Baumana, 2004. 592 s.

19. Plenki polimernye. Metod ispytaniya na rastyazhenie. GOST 14236–81 (ST SEV 1490–79) // Elektronnyj fond pravovoj i normativno-tehnicheskoy dokumentacii. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (data obrashcheniya: 19.03.2023).

20. Plastmassy. Metod ispytaniya na rastyazhenie GOST 11262–2017 (ISO 527-2:2012) // Elektronnyj fond pravovoj i normativno-tehnicheskoy dokumentacii. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (data obrashcheniya: 19.03.2023).

21. Standard test method for tensile properties of thin plastic sheeting. ASTM D882-18 // ASTM INTERNATIONAL. URL: astm.org/d0882-18.html (data obrashcheniya: 10.03.2023).

22. Plastmassy. Usloviya kondicionirovaniya i ispytaniya obrazcov (prob). GOST 12423–2013 (ISO 291:2008). // Elektronnyj fond pravovoj i normativno-tehnicheskoy dokumentacii. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (data obrashcheniya: 10.03.2023).

23. Nauchno-issledovatel'skaya laboratoriya «Gibridnye nanostrukturnye materialy». URL: <http://hybrid-nano-lab.misis.ru/equipments/eq-6.php> (data obrashcheniya: 10.03.2023).

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 17.04.2023; одобрена после рецензирования: 10.05.2023;
принята к публикации: 11.05.2023

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 17.04.2022; approved after review: 10.05.2023;
accepted for publication: 11.05.2023

Информация об авторах:

Самигуллин Гафур Халафович, профессор кафедры пожарной безопасности технологических процессов и производств Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), доктор технических наук, доцент, e-mail: samigullin.g@igps.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5688-8921>

Захаров Александр Евгеньевич, старший преподаватель кафедры пожарной безопасности технологических процессов и производств Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: frzakhsach@mail.ru

Information about the authors:

Samigullin Gafur Kh., professor of the department of fire safety of technological processes and productions of the Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), doctor of technical sciences, associate professor, e-mail: spi78@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4651-8513>

Zakharov Alexandr E., senior lecturer of the department of fire safety of technological processes and productions of the Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), e-mail: frzakhsach@mail.ru