

УДК 614.841.4:62

DOI: 10.46548/21vek-2021-1056-0040

СНИЖЕНИЕ ВЕЛИЧИН ПОЖАРНОГО РИСКА ПРИ ТРАНСПОРТИРОВКЕ НЕФТЕПРОДУКТОВ

© 2021

Мифтахутдинова Александра Артуровна, кандидат технических наук,
научный сотрудник отдела инструментальных методов и технических средств экспертизы пожаров
исследовательского центра экспертизы пожаров научно-исследовательского института перспективных
исследований и инновационных технологий в области безопасности жизнедеятельности

Иванов Алексей Владимирович, кандидат технических наук,
доцент кафедры пожарной безопасности технологических процессов и производств

Маслаков Михаил Дмитриевич, доктор технических наук,
профессор кафедры пожарной безопасности технологических процессов и производств
Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы МЧС России
(196105, г. Санкт-Петербург, Московский пр-кт, д. 149,
e-mails: mif-afto@mail.ru, spark002@mail.ru, mif-afto@mail.ru)

Аннотация. Транспортировка нефтепродуктов неотъемлемая часть нефтегазового комплекса. В настоящий момент системы противопожарной защиты не могут в полной мере обеспечить безопасное функционирование железнодорожного транспорта при перевозке нефтепродуктов. С целью обеспечения соответствия нормативным требованиям пожарной безопасности и, в то же время, использования минимальной модернизации технологии предложен способ снижения пожарного риска при транспортировке нефтепродуктов. При применении технологии стабилизации углеродных наноструктур возможно изменять параметры среды, базовой жидкости, которые обладают характеристиками, влияющими на пожарную опасность веществ и материалов. При внесении «умных материалов» в среду нефтепродуктов возможно управлять параметрами наноструктур, что позволяет в значительной степени снизить пожаровзрывоопасные проявления при обращении нефтепродуктов, в том числе и при их транспортировке. По результатам проведенного исследования показано, что использование технологии стабилизации наноструктур позволит снизить величины поражающих факторов вследствие аварии в среднем на 30%. На основании полученных данных сделан вывод о возможности применения наноматериалов с регулируемыми параметрами в среде нефтепродуктов при их транспортировке в системах противопожарной защиты, в том числе, в качестве присадок.

Ключевые слова: «умные материалы», углеродные наноструктуры, наножидкость, электрофизическое воздействие, стабилизация, транспортировка нефтепродуктов, поражающие факторы, потенциальный пожарный риск, индивидуальны пожарный риск.

REDUCING FIRE RISKS WHEN TRANSPORTING PETROLEUM PRODUCTS

© 2021

Miftakhutdinova Aleksandra Arturovna, candidate of technical sciences, researcher of the department of
instrumental methods and technical means for examination of fire, research center for examination of fire, research
institute for advanced research and innovative technologies in the field of life safety

Ivanov Aleksey Vladimirovich, candidate of technical sciences,
associate professor of the department of fire safety of technological processes and production

Maslakov Mikhail Dmitrievich, doctor of technical sciences,
professor of the department of fire safety of technological processes and production
Saint-Petersburg university of state fire service of EMERCOM of Russia
(196105, St. Petersburg, Moskovsky avenue, 149, e-mails: mif-afto@mail.ru, spark002@mail.ru, mif-afto@mail.ru)

Abstract. Transportation of petroleum products is an integral part of the oil and gas complex. At the moment, fire protection systems cannot fully ensure the safe operation of railway transport when transporting oil products. In order to ensure compliance with the regulatory requirements of fire safety and, at the same time, the use of a minimum modernization of technology, a method is proposed to reduce the calculated values of fire risk when transporting petroleum products. When applying the technology of stabilization of carbon nanostructures, it is possible to change the parameters of the medium, the base fluid, which have characteristics that affect the fire hazard of substances and materials. By introducing “smart materials” into the environment of petroleum products, it is possible to control the parameters of nanostructures, which makes it possible to significantly reduce fire and explosion hazard manifestations during the circulation of petroleum products, including during their transportation. According to the results of the study, it was shown that the use of the technology of stabilization of nanostructures will reduce the magnitude of the damaging factors due to an accident by an average of 30%. Based on the data obtained, it was concluded that it is possible to use nanomaterials with controlled parameters in the environment of petroleum products during their transportation in fire protection systems, including as additives.

Keywords: «smart materials», carbon nanostructures, nanofluid, electrophysical variable frequency-modulated signal, transportation of oil products, damaging factors, potential fire risk, individual fire risk.

Введение. Транспортировка нефтепродуктов является важным сектором нефтегазового комплекса, аварийные ситуации на объектах транспорта нефтепродуктов влекут за собой огромный ущерб. Современные методы снижения пожаровзрывоопасных проявлений обращающихся веществ и материалов, к сожалению, в большей степени направлены на минимизацию последствий, произошедших иницирующих аварийные ситуации, событий. Мероприятия и технические средства, в свою очередь, предназначенные для предотвращения пожаров и взрывов не могут в полной мере обеспечить безопасность протекания технологических процессов [1]. Решение задачи оперативной локализации аварии при железнодорожных перевозках нефтепродуктов, позволит снизить общее количество аварийных ситуаций. Для обеспечения условий стабильной работы технологических процессов и производств на объектах транспортировки нефтепродуктов необходимым является возможность управления параметрами обращающихся веществ и материалов с целью обеспечения безопасной работы персонала, аппаратов и оборудования [2].

Решение данной задачи возможно путем использования инновационных методов снижения проявлений пожарной опасности обращающихся веществ и материалов. Перспективным направлением в данной области является применение углеродных нанокomпонентов, преимуществом которых является обратимое изменение свойств базовых жидкостей [3]. С целью увеличения масштабов производства объекты нефтегазового комплекса также сталкиваются с необходимостью разработки методов и средств, направленных на минимальную модернизацию предприятия и обеспечение соответствия нормативным требованиям пожарной безопасности. Одним из таких методов является введение в среду обращающихся легковоспламеняющихся и горючих жидкостей с управляемыми параметрами в структуре наноматериалов – «умных материалов» [5-7].

Преимуществом использования «умных материалов» является изменение физико-химических свойств веществ и материалов без изменения их химического состава [3, 7, 9]. В то же время, ряд существующих недостатков применения технологий наномодификации нефтепродуктов, а именно неизбежной агрегации и седиментации углеродных наночастиц в их среде, может быть решен путем применения технологии стабилизации наноструктур [6]. Известны работы [10], где показано снижение величин пожарного риска при обращении нефтепродуктов путем оперативного введения и последующей электрофизической стабилизации наноструктурных присадок в среде нефтепродуктов.

Целью данной работы является исследование влияния данных наноструктурных присадок на величины поражающих факторов, значения потенциального и индивидуального пожарного риска вследствие реализации аварийной ситуации при транспортировке нефтепродуктов железнодорожным транспортом.

Материалы и методы исследования. При оценке

масштабов возможных аварийных ситуаций важным является характер иницирующего события и воздействия на потенциально опасный объект, и процесс протекания последующей аварии, сопровождающейся истечением, проливом пожаровзрывоопасного вещества из аппаратов и оборудования, а также образованием газопаровоздушных смесей способных к воспламенению.

В качестве объекта исследования рассматривались железнодорожные составы, состоящие из 32 железнодорожных цистерн модели 15-1547-03, предназначенные для транспортировки светлых нефтепродуктов, характеристики: объем кузова 85,6 м³; степень заполнения цистерны – 0,75 железнодорожный состав в стационарном положении. В исследовании использовались нефтепродукты растворитель (разбавитель) уайт-спирит НЕФРАС-С4-155/200 (ГОСТ 3134-78) и керосин авиационный ТС-1 (ГОСТ 32513-2013), в качестве присадок применялись многослойные углеродные нанотрубки (*MWCNT*) [6, 9], стабилизация осуществлялась путем электрофизического воздействия [11]. Подготовка наножидкостей осуществлялась ультразвуковым диспергированием наноструктур, в состав которых входят *MWCNT*, в базовом нефтепродукте [3]. Стабилизация наночастиц в нефтепродуктах осуществлялась электрофизическим методом, описанным в [12].

Наиболее вероятным сценарием аварии при транспортировке пожароопасных жидкостей выбрана ситуация полного разрушения железнодорожной вагона-цистерны, содержащей пожароопасную жидкость при атмосферном давлении.

Реализация иницирующего события рассматривалась как разгерметизация емкости под давлением близким к атмосферному с последующим истечением жидкости [13]. Развитие аварийной ситуации приведено в виде «дерева событий» на рисунке 1. Значения условных вероятностей переходов аварийной ситуации с одной ветви или с ветви на ветвь логического «дерева событий» определялись по данным [8, 14-16].

Исследование влияния наноструктурной присадки на величины пожарного риска при транспортировке нефтепродуктов осуществлялось путем применения методики снижения пожарной опасности процессов с обращением нефтепродуктов путем стабилизации углеродных наноструктур [6].

Результаты исследования. Результаты расчета условных вероятной поражения человека вследствие реализации аварийной ситуации при модификации и стабилизации УНС в среде нефтепродуктов показывают снижение условной вероятности поражения человека волной давления в среднем на 10% (рис. 2).

На процессы парообразования модифицированных нефтепродуктов в условиях стабилизации наноструктур влияют характеризующие параметры наноматериалов [9, 19, 20]. При добавлении наноструктурных присадок и стабилизации полученных наножидкостей интенсивность испарения нефтепродуктов будет снижаться [10].

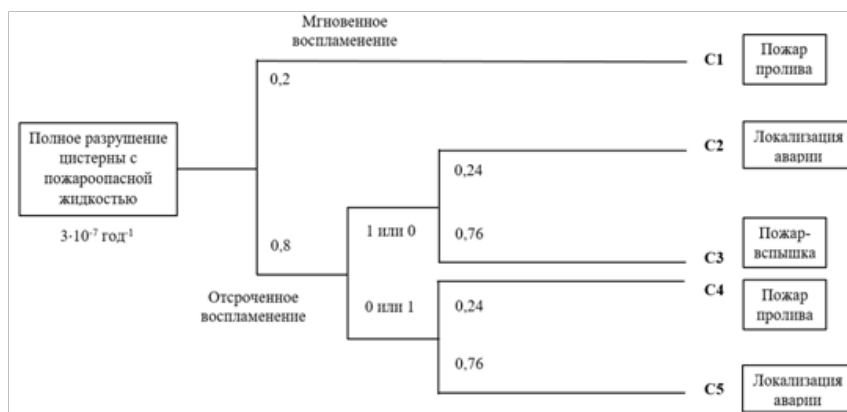


Рисунок 1 – «Дерево событий» при полном разрушении вагона-цистерны, содержащей нефтепродукт [8]

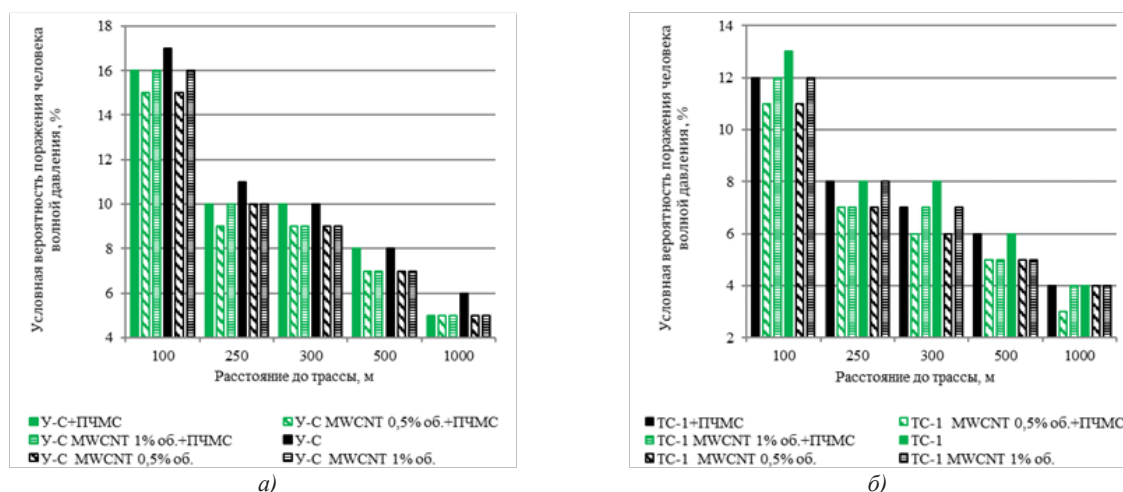


Рисунок 2 – Результаты расчета условной вероятности поражения человека волной давления вследствие полной разгерметизации вагона-цистерны с нефтепродуктом: а) уайт-спирит НЕФРАС-С4-155/200; б) керосин TC-1

Таблица 1 – Размеры взрывоопасных зон при полной разгерметизации вагона-цистерны

Вещество	Взрывоопасная Зона, м	Концентрация MWCNT, об. %					
		-	0,5	1,0	-ПЧМС	0,5 ПЧМС	1,0 ПЧМС
Уайт-Спирит НЕФРАС-С4-155/200	R	31875,72	15937,86	21250,48	23906,79	18594,17	13281,55
	Z	1062,52	531,26	708,35	796,89	619,81	442,72
Керосин TC-1	R	7379,55	3689,78	5165,69	5903,64	4427,73	2951,82
	Z	245,99	122,99	172,19	196,79	147,59	98,39

При расчете поражающих факторов учитываются параметры, характеризующие пожароопасные проявления обращающихся веществ, такие как интенсивность испарения и площадь пролива нефтепродуктов. Возможность образования газопаровоздушного облака вследствие выхода веществ из аппаратов и оборудования в окружающую среду предопределяет образование «огненного шара» (в случае если обращающиеся вещества имеют температуру начала кипения менее 60–65°C [16]) и пожара-вспышки. При реализации сценария пожар-вспышка (рис. 1) произведен расчет взрывоопасных зон [15] (R – радиус поражения, Z – высота поражения), результаты представлены в таблице 1.

Размер взрывоопасных зон снижается в два раза, что обусловлено снижением интенсивности испарения при введении и стабилизации углеродных наноструктур в среде нефтепродуктов.

Данные, полученные в ходе исследования влияния УНС на расчетные величины пожарного риска, также показывают снижение площади проливов наномодифицированных нефтепродуктов, следовательно, вероятность поражения человека тепловым излучением пожара также снижается (рис. 3).

Наибольшее снижение площади проливов наблюдается при концентрации наноструктур 0,5 об.% в совокупности с электрофизическим воздействием. Данный эффект обусловлен стабилизацией наночастиц в среде нефтепродуктов в условиях электрофизического воздействия.

Расчет потенциального (1) и индивидуального (2) пожарного риска согласно методики [14]. Значение потенциального риска определялось по формуле:

$$P(A) = \sum_{i=1}^j Q_{di}(a) \cdot Q(A_i) \quad (1)$$

где $Q_{di}(a)$ – максимальная условная вероятность

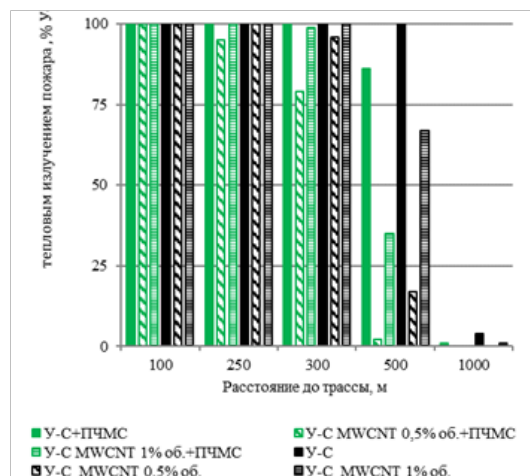
поражения человека; $Q(A)$ – вероятность реализации в течение года i -той ветви логической схемы аварии, год⁻¹.

Индивидуальный риск R , год⁻¹, определяем по формуле:

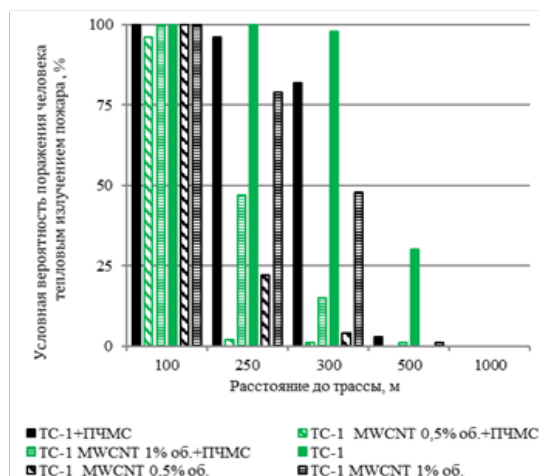
$$R = P(A) \cdot q \quad (2)$$

где $P(A)$ – значение потенциального риска для наиболее опасного события, год⁻¹; q – вероятность присутствия работников на объекте.

Результаты представлены в таблице 2.



а)



б)

Рисунок 3 – Результаты расчета условной вероятности поражения человека тепловым излучением пожара вследствие полной разгерметизации вагона-цистерны с нефтепродуктом: а) «уайт-спирит» НЕФРАС-С4-155/200; б) керосин TC-1

Таблица 2 – Значения потенциального (ППР) и индивидуального (ИПР) пожарного риска (год⁻¹·10⁻²) при реализации взрыва газопаровоздушной смеси при значениях расстояния до трассы r (м)

Растворитель «Уайт-спирит» НЕФРАС-С4-155/200												
г, м	У-С		MWCNT 0,5% об.		MWCNT 1,0% об.		ПЧМС		ПЧМС+MWCNT 0,5% об.		ПЧМС MWCNT 1,0% об.	
	ППР	ИПР ⁻²	ППР	ИПР ⁻²	ППР	ИПР ⁻²	ППР	ИПР ⁻²	ППР	ИПР ⁻²	ППР	ИПР ⁻²
100	17	5,78	15	5,10	16	5,44	16	5,44	15	5,10	16	5,44
250	11	3,74	10	3,40	10	3,40	10	3,40	9	3,06	10	3,40
300	10	3,40	9	3,06	9	3,06	10	3,40	9	3,06	9	3,06
500	8	2,72	7	2,38	7	2,38	8	2,72	7	2,38	7	2,38
1000	6	2,04	5	1,70	5	1,70	5	1,70	5	1,70	5	1,70
Керосин авиационный ТС-1												
г, м	ТС-1		MWCNT 0,5% об.		MWCNT 1,0% об.		ПЧМС		ПЧМС+MWCNT 0,5% об.		ПЧМС MWCNT 1,0% об.	
	ППР	ИПР ⁻²	ППР	ИПР ⁻²	ППР	ИПР ⁻²	ППР	ИПР ⁻²	ППР	ИПР ⁻²	ППР	ИПР ⁻²
100	13	4,42	11	3,74	12	4,08	12	4,08	11	3,74	12	4,08
250	8	2,72	7	2,38	8	2,72	8	2,72	7	2,38	7	2,38
300	8	2,72	6	2,04	7	2,38	7	2,38	6	2,04	7	2,38
500	6	2,04	5	1,70	5	1,70	6	2,04	5	1,70	5	1,70
1000	4	1,36	4	1,36	4	1,36	4	1,36	3	1,02	4	1,36

Заключение. Таким образом, использование «умных материалов» в качестве наноструктурных присадок позволяет повысить эффективность элементов системы противопожарной защиты на объектах транспортировки нефтепродуктов и может быть применено в качестве наноструктурных присадок для оперативного введения в среду нефтепродуктов вследствие реализации сценариев аварии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Nolan D.P. Handbook of fire and explosion protection engineering principles for oil, gas, chemical and related facilities. 2nd ed. Elsevier Inc. – 2011. – 340 p. DOI: 10.1016/B978-1-4377-7857-1.00039-2.
2. Солодова Н.Л., Терентьева Н.А. Наноматериалы и нанотехнологии в нефтепереработке // Вестник Казанского технологического университета. – 2013. Т. 16, № 3. – С. 209-216.
3. Иванов А.В., Сорокин А.Ю., Ивахнюк Г.К., Демехин Ф.В. Управление электростатическими свойствами жидких углеводородов, модифицированных углеродными наноструктурами // Пожаровзрывобезопасность. – 2017. Т. 26 № 7. – С. 16-27. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.07.16-27.

турами // Пожаровзрывобезопасность. – 2017. Т. 26 № 7. – С. 16-27. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.07.16-27.

4. Wang J.-S., Wang J., Lü I J.T. Quantum thermal transport in nanostructures // The European Physical Journal B. – 2008. – Vol. 62, Issue 4. – P. 381-404. DOI: 10.1140/epjb/e2008-00195-8.

5. Bhunia M.M., Panigrahi K., Das S., Chattopadhyay K.K., Chattopadhyay P. Amorphous graphene – Transformer oil nanofluids with superior thermal and insulating properties // Carbon. – 2018. – № Vol. 139. – С P. 1010-1019. DOI: 10.1016/j.carbon.2018.08.012.

6. Иванов А.В., Мифтахутдинова А.А., Ивахнюк Г.К., Башаричев А.В. Физико-технологические принципы и методика управления пожароопасными процессами при обращении с жидкими углеводородами в условиях стабилизации углеродных наноструктур // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. – 2018. Т. 27 № 12. – С. 7-18. DOI: 10.18322/PVB.2018.27.12.7-18.

7. Иванов А.В., Ивахнюк Г.К., Медведева Л.В. Методы управления свойствами углеводородных жидкостей в задачах обеспечения пожарной безопасности // Пожаровзрывобезопасность. – 2016. Т. 26, № 9. – С. 30-37. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.09.30-37.

8. Постановление Госгортехнадзора России от 26.04.2000 № 23 / РД 03-357-00 Методические рекомендации по состав-

лению декларации промышленной безопасности опасного производственного объекта.

9. Иванов А. В., Мифтахутдинова А. А., Нефедьев С. А., Симонова М. А., Маслаков М. Д. Условия стабилизации наноструктур для безопасной транспортировки легковоспламеняющихся жидкостей // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2017. — Т. 26, № 9. — С. 35–43. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.09.35-43.

10. Мифтахутдинова А.А., Иванов А.В., Скрипник И.Л., Шугайбов Р.А. Реализация технологии управления свойствами наноструктур в жидких углеводородах для снижения пожарного риска на объектах нефтегазового комплекса [Электронный ресурс] // Техносферная безопасность. — 2019. — Т. 23. — № 2. — С. 49-57.

11. Патент РФ № 2479005. Способ и устройство управления физико-химическими процессами в веществе и на границе раздела фаз. [авторы: Ивахнюк Г.К. (RU), Матюхин В.Н. (RU), Клачков В.А. (RU), Шевченко А.О. (RU), Князев А.С. (RU), Ивахнюк К.Г. (RU), Иванов А.В. (RU), Родионов В.А. (RU), Опубликовано: 10.04.2013. Бюл. № 10 Федеральной службы по интеллектуальной собственности] URL: <http://www.freepatent.ru/patents/2479005> (дата обращения: 10.06.2021).

12. Патент РФ № 2709609. Способ снижения электризации жидких углеводородов при обращении с ними [Электронный ресурс]. [авторы: Иванов А.В. (RU), Мифтахутдинова А.А. (RU), Сорокин А.Ю. (RU), Симонова М.А. (RU), Ивахнюк Г.К. (RU), Медведева Л.В. (RU)]. Опубликовано: 19.12.2019. Бюл. № 35 Федеральной службы по интеллектуальной собственности URL: <https://www1.fips.ru/iiss/document.xhtml?faceesredirect=true&id=c0f90a86941fc09a44efca48ad784ac8> (дата обращения: 16.01.2020).

13. Нормативно-правовое и научно-методическое обеспечение технического регулирования в области пожарной безопасности. Раздел 2. Том 1. Пособие по определению расчетных величин пожарного риска для производственных объектов: отчет о НИР – М.: ВНИИПО, 2016 – 265 с.

14. Методические рекомендации по разработке декларации пожарной безопасности. утв. ФГБУ ВНИИПО МЧС России – М.: ВНИИПО, 2013 – 17 с..

15. Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах: приказ МЧС России от 10 июля 2009 № 404 (в ред. от 14.12.2010) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://base.garant.ru/> (дата обращения 08.09.17).

16. Об утверждении руководства по безопасности «Методика оценки риска аварий на технологических трубопроводах, связанных с перемещением взрывопожароопасных жидкостей»: приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 17 сентября 2015 г. № 366 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/420302829> (дата обращения 12.12.17).

17. Методика оценки риска аварий на опасных производственных объектах нефтегазоперерабатывающей, нефте- и газохимической промышленности: Руководство по безопасности. Серия 09. Выпуск 45. – М.: ЗАО «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности», 2016 – 44 с.

18. Иванов А.В., Ивахнюк Г.К. Применение электрофизического метода управления процессами парообразования легковоспламеняющихся жидкостей в условиях модификации углеродными нанокompонентами [Текст] // Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России. – 2015. – №3. – С.9-17.

19. Мифтахутдинова А.А., Таранцев А.А., Ивахнюк Г.К. Моделирование процессов парообразования модифицированных нефтепродуктов в условиях стабилизации углеродных наноструктур [Электронный ресурс] // Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России. – 2019. – № 2. – С. 113-117.

20. Shah N., Panjala D., Huffman G.P. Hydrogen production by catalytic decomposition of methane // Energy & Fuels. – 2001. – Vol. 15, No. 6. – P. 1528-1534. DOI: 10.1021/ef0101964.

Статья поступила в редакцию 10.11.2021

Статья принята к публикации 07.12.2021