

УДК 614.835.3

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЖАРООПАСНЫХ ПАРАМЕТРОВ НЕКОТОРЫХ НЕФТЕПРОДУКТОВ В УСЛОВИЯХ МОДИФИКАЦИИ И СТАБИЛИЗАЦИИ УГЛЕРОДНЫХ НАНОЧАСТИЦ

Гужва Александра Артуровна¹, Скрипник Игорь Леонидович¹,
Каверзнева Татьяна Тимофеевна², Румянцева Нина Вячеславовна²

¹Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, г. Санкт-Петербург, Россия

²Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, г. Санкт-Петербург, Россия

АННОТАЦИЯ

В данной работе представлен способ снижения пожаровзрывоопасных проявлений нефтепродуктов (НП) при их хранении, транспортировке и сливо-наливных операциях. Способ представляет собой добавление модифицирующей присадки в среду НП при возникновении аварийных ситуаций (АС) в технологических процессах. В качестве модифицирующей присадки использованы углеродные многослойные нанотрубки и дополнительно стабилизированы электрофизическим воздействием. НП, модифицированные наночастицами, полученные в условиях электрофизического воздействия, характеризуются стабильностью наноструктур в среде НП, а также пониженной электропроводностью и парообразованием. Помимо улучшенных электростатических свойств, процесс агрегации наночастиц замедляется при воздействии переменного частотно-модулированного сигнала (ПЧМС), что способствует увеличению удельного электрического сопротивления модифицированных НП. Результаты исследования показывают снижение пожароопасных проявлений: интенсивности испарения и электризации НП, что предполагает снижение образования паровоздушных смесей, способных к воспламенению, и возможности образования потенциальных источников зажигания электростатической природы. Данные результаты свидетельствуют о возможности применения наноконструктивных компонентов в области обеспечения пожарной безопасности за счет управления параметрами обращающихся веществ и материалов.

Ключевые слова: нефтепродукты, углеродные наноструктуры, аварийные ситуации, паровоздушные смеси, электризация

STUDY OF FIRE HAZARDOUS PARAMETERS OF SOME PETROLEUM PRODUCTS UNDER CONDITIONS OF MODIFICATION AND STABILIZATION OF CARBON NANOPARTICLES

Alexandra A. Guzhva¹, Igor L. Skripnik¹, Tatyana T. Kaverzneva², Nina V. Rumyantseva²

¹ St. Petersburg University of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia, St. Petersburg, Russian Federation

² St. Petersburg Polytechnic University of Peter the Great, St. Petersburg, Russian Federation

ABSTRACT

This paper presents a method for reducing fire and explosion hazards of petroleum products (OP) during their storage, transportation and loading and unloading operations. The method involves adding a modifying additive to the NP medium in the event of emergency situations (AS) in technological processes. Multiwalled carbon nanotubes were used as a modifying additive and were additionally stabilized by electrophysical action. NPs modified with nanoparticles, obtained under conditions of electrophysical influence, are characterized by stability of nanostructures in the NP environment, as well as reduced electrical conductivity and vaporization. In addition to improved electrostatic properties, the process of nanoparticle aggregation, which contributes to an increase in the electrical resistivity of modified NPs, slows down when exposed to an alternating frequency modulated signal (AFMS). The results of the study show a decrease in fire hazardous manifestations: the intensity of evaporation and electrification of the oil, which suggests a decrease in the formation of steam-air mixtures capable of ignition and the possibility of the formation of potential ignition sources of an electrostatic nature. These results indicate the possibility of using nanocomponents in the field of fire safety by controlling the parameters of circulating substances and materials.

Keywords: petroleum products, carbon nanostructures, emergency, steam-air mixtures, electrification

Введение

В технологическом процессе производства на предприятиях нефтяного комплекса обращается большое количество НП, которые при наличии источника зажигания (фрикционной искры, разрядов статического электричества и т. д.) и окислителя могут приводить к чрезвычайным ситуациям (ЧС), проявляющимся в виде пожара, взрыва, что приводит к остановке производства, гибели обслуживающего персонала, в том числе людей, находящихся в селитебной зоне, потере материальных носителей (ценностей), а также нанесению большого вреда экологической обстановке в регионе [1–5].

Сами пожароопасные свойства НП, исходя из их физической и химической природы, устранить невозможно. Также не представляется возможным из технологического процесса изъять некоторые операции, такие как слив, налив НП, перекачка их по трубопроводам, транспортировка на другие объекты, хранение в специальных емкостях (резервуарах). Но возможно

предложить способы, позволяющие минимизировать пожароопасные свойства НП, для снижения возникновения АС. Это можно сделать с помощью модификации (внедрения) в НП углеродных наноструктур (УНС) и получения так называемых модифицированных наножидкостей (МНЖ) [6]. В связи с тем что снижение пожароопасных свойств в этом случае достигается непродолжительное время, также предлагается его увеличение с помощью воздействия на уже МНЖ электрофизическим способом с помощью подачи на них переменного частотно-модулированного сигнала (ПЧМС). Электрофизическое воздействие позволяет проводить данные необходимые операции технологического процесса с меньшей вероятностью возникновения ЧС при наличии соблюдения всех организационно-технических и компенсирующих мероприятий [7, 8].

Свойства НП, рассматриваемые в исследовании, определяют взрывопожароопасные параметры технологических

процессов и производств, то есть способность данных веществ к возникновению и распространению пожара [9, 10].

Интенсивность испарения рассматривается как параметр, определяющий возможность образования газопаровоздушных смесей, способных к воспламенению. Следовательно, при минимизации интенсивности парообразования снижается вероятность возникновения аварии, связанной с выбросом вещества в окружающую среду.

Также важным параметром следует учитывать возникновение потенциальных источников зажигания, одним из немаловажных является электростатика. На сегодняшний день известные организационные мероприятия и технические средства электростатической искробезопасности при обращении НП не способны в полном объеме минимизировать образование электростатических разрядов. Поскольку электрическая проводимость НП характеризуется свойствами присадок и примесей, рассматриваемые электрофизические свойства НП, такие как электрическая проводимость и напряженность электрического поля, отражают способность веществ к накоплению электростатических разрядов. Следовательно, при увеличении электропроводности и снижении электризации снижается вероятность возникновения электростатического источника зажигания при обращении НП.

Методология

Объекты исследования представляют собой свойства наножидкостей на основе НП в условиях электрофизической стабилизации [4]. В качестве базовых жидкостей НП использовался керосин ТС-1, авиационный, автомобильный бензин АИ-95. УНС – MWCNT, подготовленные на установке «CVDompa». Стабилизация УНС производилась путем электрофизиче-

ской стабилизации с помощью применения прибора ПЧМС [4]. Для оценки эффективности применения выбранного нами метода стабилизации проводились исследования и для нестабилизированных наножидкостей.

Методом исследования интенсивности испарения НП, модифицированных УНС в условиях электрофизической стабилизации, является гравиметрия испарившейся МНЖ, находящейся в стеклянной колбе с открытой крышкой. После 1 суток, проведенных исследований, на весах фиксировалась потеря ее массы. Расчет интенсивности испарения производился согласно ГОСТ ISO 4589-84.

Путем фиксации изменения напряженности электрического поля, при воздействии источника ультразвука, проводились измерения напряженности электрического поля модифицированных НП в условиях электрофизической стабилизации УНС. Применялся источник ультразвука с параметрами $f = 100$ кГц, $P = 1$ кВт, фиксация измерений производилась электростатическим вольтметром «SF 156», расстояние от поверхности жидкости 50 мм, образец представляет собой НП, помещенный в стеклянные емкости объемом 50 мл.

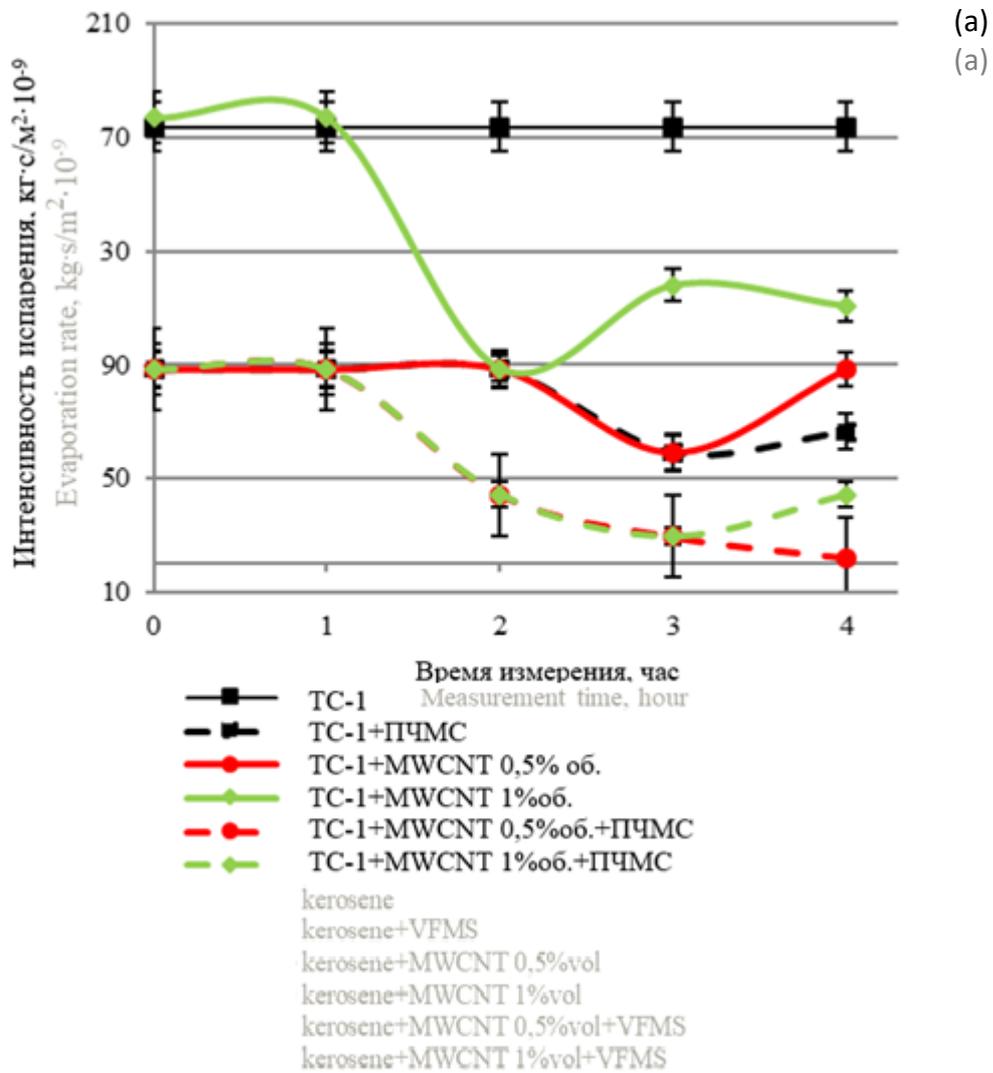
Согласно ГОСТ ISO 6297-2015С, с помощью терраметра Е6-13А осуществлялись измерения удельной электрической проводимости. Снятие результатов измерений выполнялось с интервалом в 30 мин за 4 часа до установления термодинамического и статического равновесия заряда МНЖ при электрофизическом воздействии.

Результаты и их обсуждение

Данные исследования процессов парообразования модифицированных MWCNT НП в условиях электрофизической стабилизации УНС показывают снижение значений интенсивности испарения

на 32 ÷ 38 % по отношению к модифицированным MWCNT НП, не подверженным каким-либо способам стабилизации УНС, взятым за объект сравнения. Показаны

результаты опытов воздействия ПЧМС на МНЖ по изменению интенсивности испарения (рис. 1).



(a)
(a)

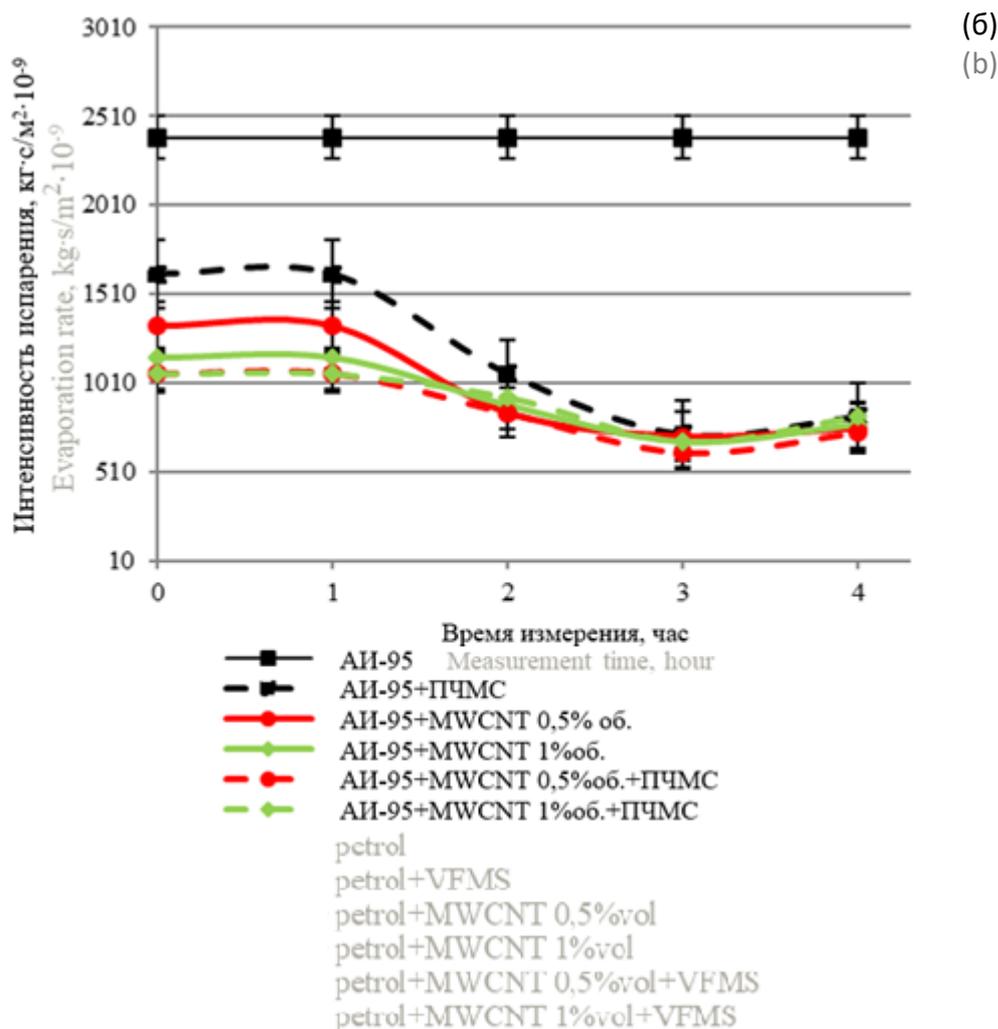


Рис. 1. Интенсивность испарения модифицированных MWCNT НП в условиях воздействия ПЧМС (а) ТС-1, (б) АИ-95

Fig. 1. The evaporation rate of modified MWCNT petroleum products in conditions of variable frequency-modulated signal of (a) kerosene, (b) petrol

Видно, что данное влияние имеет позитивный характер, т. к. исследуемая характеристика уменьшилась приблизительно на 23 ÷ 41 %.

Снижение интенсивности паробразования связано с увеличением времени образования агрегатов УНС вследствие воздействия ПЧМС. Таким образом, применение стабилизированных наножидкостей позволит «управлять» процессами образования горючих смесей вследствие выхода НП в окружающую среду при возникновении АС [20].

При концентрации MWCNT 0,5 % об. значения интенсивности образования паровоздушных смесей минимально по сравнению с концентрацией 1,0 % об., что обусловлено медленной агрегацией наночастиц.

Результаты исследования процессов электризации модифицированных НП в условиях стабилизации УНС показывают снижение напряженности электрического поля, стабилизированных наножидкостей на 61 ÷ 69%. по отношению к МНЖ без воздействия ПЧМС (рис. 2)

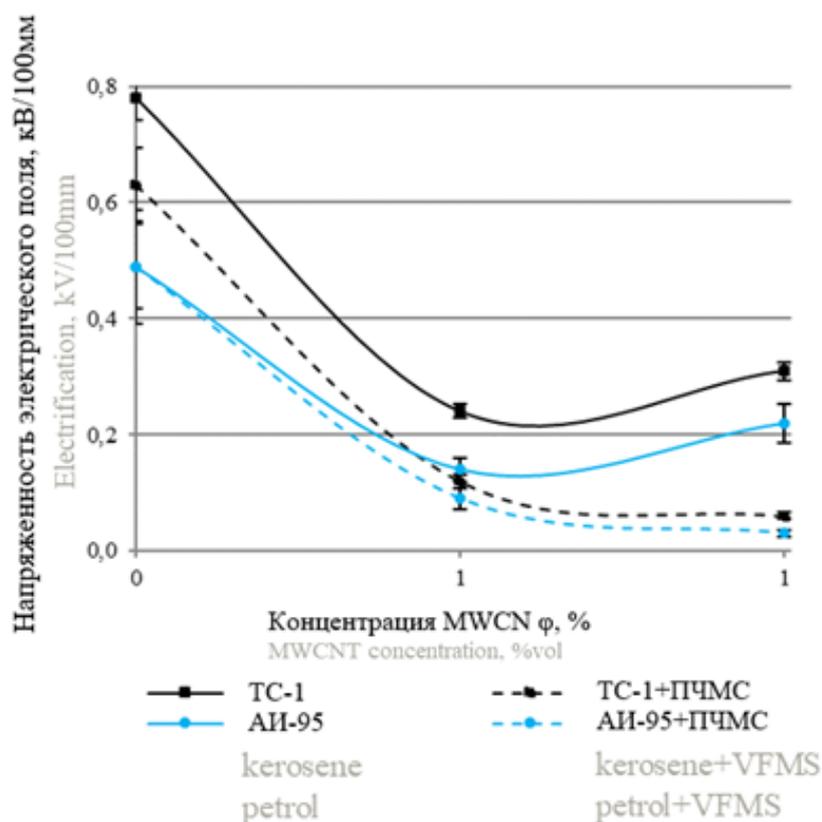


Рис. 2. Напряженность электрического поля модифицированных MWCNT НП в условиях воздействия ПЧМС

Fig. 2. Dependence of electrification of modified petroleum products in conditions variable frequency-modulated signal of MWCNT concentration

Электрофизические свойства жидкостей зависят во многом от характеристик присадок, в данном случае от свойств УНС, которые проявляют индуцированную поляризацию. Следовательно, для оценки вклада стабильности УНС в среде НП проведены исследования удельного объемного электрического сопротивления

(УОЭС) полученных наножидкостей на основе НП.

Результаты исследования УОЭС при электрофизической стабилизации наноструктур показывают уменьшение приблизительно на 32 ÷ 59 %. В то же время по отношению к МНЖ без электрофизического воздействия стабильность данного показателя выросла до 4 часов (рис. 3).

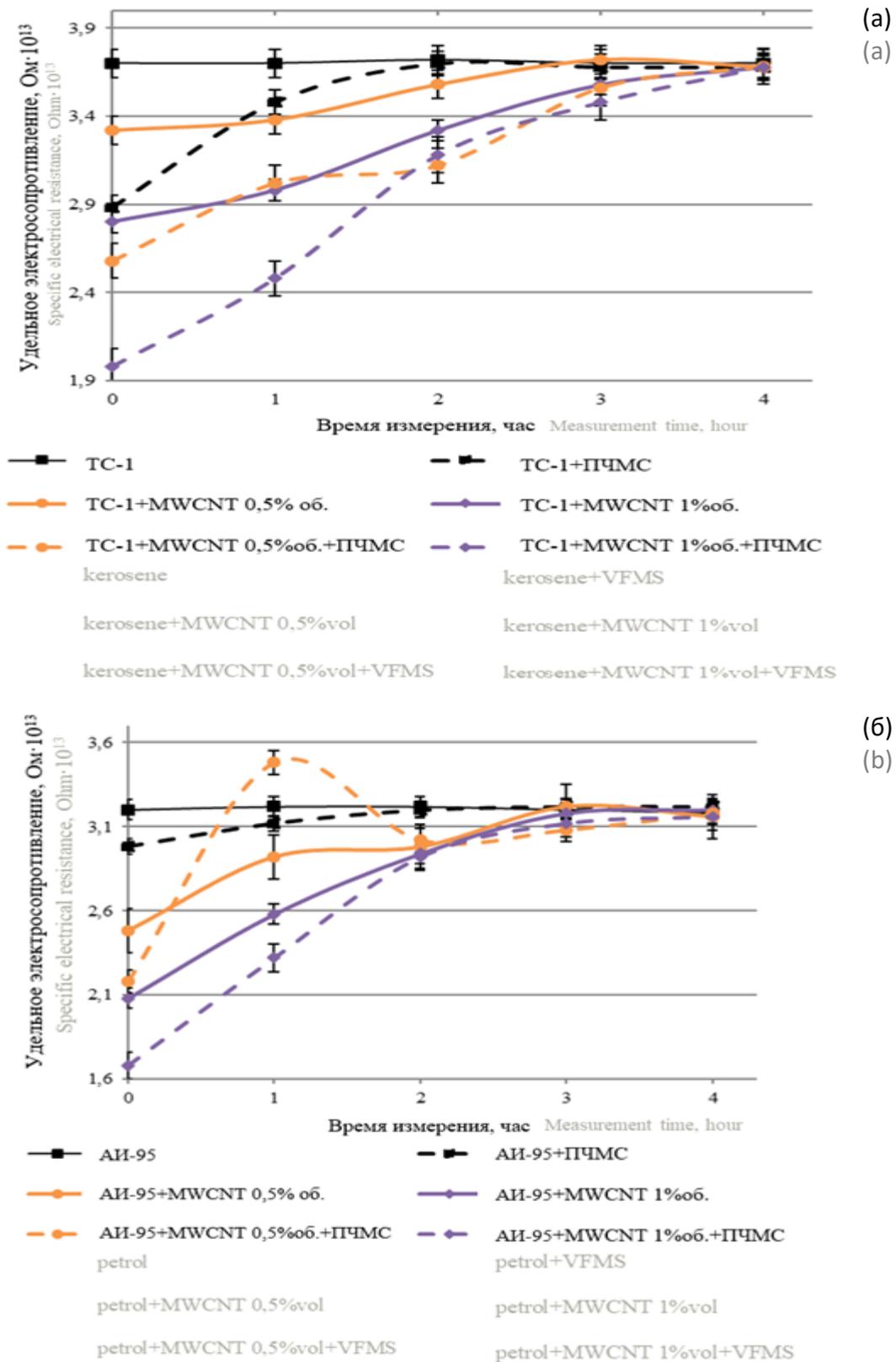


Рис. 3. УОЭС модифицированных MWCNT НП в условиях воздействия ПЧМС TC-1 (а), АИ-95 (б)

Fig. 3. The specific electrical resistance of modified MWCNT petroleum products in conditions of variable frequency-modulated signal of (a) kerosene, (b) petrol

Таким образом, в условиях электрофизической стабилизации MWCNT подвержены менее интенсивному процессу образования агрегатов. За счет стабильности наножидкостей в условиях воздействия электрического поля стабилизируются и значения электрической проводимости жидкостей.

Полученные результаты отражают возможность использования УНС в качестве присадок НП. При модификации НП УНС возможно управления свойствами пожароопасных жидкостей [6]. Результаты исследований, приведенные в данной работе, показывают перспективное использование наноматериалов в качестве присадок способных обратимо менять свойства НП. В совокупности с электрофизической стабилизацией возможно не только улучшить полученные результаты, а также увеличить время действия улучшенных свойств во времени, что позволит минимизировать вероятность возникновения АС.

Выводы

Применение наноструктурных присадок имеет место в случаях возникновения АС с целью минимизации проявлений, связанных с пожаровзрывоопасностью протекающих в производстве процессов: при операциях слива-налива НП (опорожнение и заполнение емкостей, приемка НП на сливо-наливных эстакадах и т. д.), хранения (резервуары для долгосрочного и краткосрочного хранения НП, малообъемные емкости и т. д.) и транспортировки (транспортировка по нефтепродуктопроводам, железнодорожным и автомобильным транспортом) [14–22].

Разработка технических средств и организационных мероприятий применения описанного способа снижения пожароопасных параметров технологических процессов при обращении НП, модифицированных УНС, в условиях электрофизического воздействия является направлением дальнейших исследований [14–22].

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Условия стабилизации наноструктур для безопасной транспортировки легковоспламеняющихся жидкостей / А. В. Иванов и др. // Пожаровзрывобезопасность. 2017. Т. 26, № 9. С. 35–43.
2. Мифтахутдинова А. А., Иванов А. В., Ивахнюк Г. К. Моделирование процессов электризации жидких углеводородов в условиях стабилизации углеродных наноструктур // Техносферная безопасность. 2018. Т. 21, № 4. С. 36–44.
3. Мифтахутдинова А. А., Таранцев А. А., Ивахнюк Г. К. Моделирование процессов парообразования модифицированных нефтепродуктов в условиях стабилизации углеродных наноструктур // Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России. 2019. № 2. С. 113–117.
4. Реализация технологии управления свойствами наноструктур в жидких углеводородах для снижения пожарного риска на объектах нефтегазового комплекса / А. А. Мифтахутдинова и др. // Техносферная безопасность. 2019. Т. 23, № 2. С. 49–57.
5. Физико-технологические принципы и методика управления пожароопасными процессами при обращении с жидкими углеводородами в условиях стабилизации углеродных наноструктур / А. В. Иванов и др. // Пожаровзрывобезопасность. 2018. Т. 27, № 12. С. 7–18.
6. Технология управления наноструктурами для снижения пожарной опасности в нефтегазовой отрасли: эффективность, особенности и реализация / А. В. Иванов и др. // Журнал прикладной инженерной науки. 2021. Т. 766. № 19. С. 84–91.
7. Исследование интенсивности теплового потока при компостировании органических отходов / Г. К. Ивахнюк и др. // Конф. ЮР. Серия: Наука о Земле и окружающей среде. 2020. Т. 548. С. 1–6.
8. Оценка технического уровня новых, перспективных образцов техники на этапе их разработки в современной инженерной практике / И. Л. Скрипник и др. // Конф. ЮР. Серия: Материаловедение и инженерия. 2020. Т. 862. С. 1–8.
9. Вагапов Р. Р., Родионов В. А. Новые возможности повышения огнетушащих свойств воды и водных растворов ПАВ // Нефтяное хозяйство. Нефтяная промышленность. 2010. № 11. С. 123–125.

10. Экспресс-биоиндикация загрязнения окружающей среды ртутью с использованием дрожжевых грибов / Е. А. Новоселова и др. // IOP Conf. WIAFT-V-2021 Серия: Наука о Земле и окружающей среде. 2021. Т. 848. С. 1-6.
11. Метод исследования влияния ингибирующих и флегматизирующих веществ на воспламеняемость и взрывоопасность угольной пыли / З. А. Абиев и др. // МИАБ. Горное дело. 2018. Вып. 5. С. 26–34.
12. Совершенствование метода экспресс-биоиндикации дрожжевыми грибами загрязнения окружающей среды ртутью с использованием механической активации и электрофизического воздействия / Е. А. Новоселова и др. // IOP Conf. AGRITECH-V-2021 Серия: Наука о Земле и окружающей среде. 2021. Т. 839. С. 1-7.
13. Жихарев С. Я., Родионов В. А., Пихконен Л. В. Инновационные методы исследования технологических свойств и данных о взрывопожароопасности угольной пыли // Горный журнал. 2018. № 6. С. 45–49.
14. Akoh H., Tsukasaki Y., Yatsuya S., Tasaki A. Magnetic properties of ferromagnetic ultrafine particles prepared by vacuum evaporation on running oil substrate. *Journal of Crystal Growth*, 45 (1978), pp. 495–500.
15. Baby T., Ramaprabhu S. Investigation of thermal and electrical conductivity of graphene based nanofluids. *Journal of Applied Physics*, 12 (2010), pp. 124–308.
16. Bhunia M. M., Panigrahi K., Das S., Chattopadhyay K.K., Chattopadhyay P. Amorphous graphene – Transformer oil nanofluids with superior thermal and insulating properties. *Carbon*, 139 (2018), pp. 1010–1019.
17. Sidik N. A. C., Jamil M. M., Arif W. M. Aziz Japar, Adamu I. M. A review on preparation methods, stability and applications of hybrid nanofluids. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 80 (2017), pp. 1112–1122.
18. Tzallas P., Kosmidis C., Philis J. G. Ionization/dissociation of thiazole and thiazolidine induced by strong laser fields. *Chemical Physics Letters*, 343 (2001), pp. 91–98.
19. Nasiri A., Shariaty-Niasar M., Rashidi A., Amrollahi A., Khodafarin R. Effect of dispersion method on thermal conductivity and stability of nanofluid. *Experimental thermal and fluid science*, 4 (2011), pp. 717–723.
20. Shaik S., de Visser S. P., Kumar D. External Electric Field Will Control the Selectivity of Enzymatic-Like Bond Activations. *JACS Articles*, 126 (2004), pp. 11746–11749.
21. Mebel A. M., Zyubina T. S., Dyakov Y. A., Bandrauk A. D., Lin S. H. Potential energy surfaces in coulomb explosion of polyatomic molecules: benzene and cyclohexane trications and acetylene dication. *International Journal of Quantum Chemistry*, 102 (2005), pp. 506–519.
22. Mukherjee S., Paria S. Preparation and Stability of Nanofluids. *Journal of Mechanical and Civil Engineering*, 2 (2013), pp. 63–69.

REFERENCES

1. Ivanov A.V., Miftakhutdinova A.A., Nefed'ev S.A., Simonova M.A., Maslakov M.D. Conditions for stabilization of nanostructures for the safe transportation of flammable liquids. *Fire and Explosion Safety*, 2017; 26(9): 35–43. (rus).
2. Miftakhutdinova A.A., Ivanov A.V., Ivakhnyuk G.K. Modeling of processes of electrification of liquid hydrocarbons under conditions of stabilization of carbon nanostructures. *Technosphere safety*. 2018; 21(4):36–44. (rus).
3. Miftakhutdinova A.A., Tarantsev A.A., Ivakhnyuk G.K. Modeling of vaporization processes of modified petroleum products under conditions of stabilization of carbon nanostructures. *Bulletin of the St. Petersburg University of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia*. 2019; 2:113–117. (rus).
4. Miftakhutdinova A.A., Ivanov A.V., Skripnik I.L., Shugaibov R.A. Implementation of technology for controlling the properties of nanostructures in liquid hydrocarbons to reduce fire risk at oil and gas complex facilities. *Technospheric safety*. 2019; 23(2):49–57. (rus).
5. Ivanov A.V., Miftakhutdinova A.A., Ivakhnyuk G.K., Basharichev A.V. Physico-technological principles and methods for controlling fire-hazardous processes when handling liquid hydrocarbons under conditions of stabilization of carbon nanostructures. *Pozharovzryvobezopasnost*. 2018; 27(12):7–18. (rus).
6. Ivanov A.V., Dali F.A., Ivakhnyuk G.K., Skripnik I.L., Simonova M.A., Shikhalev D.V. Nanostructure control technology to reduce fire danger in the oil and gas industry: efficiency, features and implementation. *Journal of Applied Engineering Science*. 2021; 766(19):84–91. (rus).
7. Ivakhnyuk G.K., Skripnik I.L., Ksenofontov Yu.G., Kaverzneva T.T., Basharichev A.V. Study of heat flow intensity during composting of organic waste. *Conf. IOP. Series: Earth and Environmental Science*. 2020; 548:1–6. (rus).

8. Skripnik I.L., Ksenofontov Yu.G., Kaverzneva T.T., Rummyantseva N.V., Kiss V.V. Assessment of the technical level of new, promising models of equipment at the stage of their development in modern engineering practice. Conf. IOP. Series: Materials Science and Engineering. 2020; 862: 1–8. (rus).
9. Vagapov R.R., Rodionov V.A. New possibilities for increasing the fire extinguishing properties of water and aqueous solutions of surfactants. Oil industry. Oil industry. 2010; 11:123–125. (rus).
10. Novoselova E.A., I.L. Skripnik, T.T. Kaverzneva, D.I. Idrisova, K.V. Wheat. Express bioindication of environmental pollution with mercury using yeast fungi. IOP Conf. WIAFT-V-2021 Series: Earth and Environmental Science. 2021; 848:1–6. (rus).
11. Abiev Z.A., Rodionov V.A., Paramonov G.P., Chernobay V.I. Method for studying the influence of inhibitory and phlegmatizing substances on the flammability and explosion hazard of coal dust. MIAB. Mining engineering. 2018; 5:26–34. (rus).
12. Novoselova E.A., Skripnik I.L., Kaverzneva T.T., Rummyantseva N.V., Tumanov A.Yu. Improving the method of express bioindication of environmental mercury pollution by yeast fungi using mechanical activation and electrophysical influence. IOP Conf. AGRITECH-V-2021 Series: Earth and Environmental Science. 2021; 839:1–7. (rus).
13. Zhikharev S.Ya., Rodionov V.A., Pikhkonen L.V. Innovative methods for studying technological properties and data on the explosion and fire hazard of coal dust. Mining Journal. 2018; 6:45–49. (rus).
14. Akoh H., Tsukasaki Y., Yatsuya S., Tasaki A. Magnetic properties of ferromagnetic ultrafine particles prepared by vacuum evaporation on running oil substrate. Journal of Crystal Growth, 45 (1978), pp. 495-500.
15. Baby T., Ramaprabhu S. Investigation of thermal and electrical conductivity of graphene based nanofluids. Journal of Applied Physics. 2010; 12:124–308.
16. 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; 139:1010–1019.
17. Sidik N.A.C., Jamil M.M., Arif W.M. Aziz Japar, Adamu I.M. A review on preparation methods, stability and applications of hybrid nanofluids. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2017; 80:1112-1122.
18. Tzallas P., Kosmidis C., Philis J.G. Ionization/dissociation of thiazole and thiazolidine induced by strong laser fields. Chemical Physics Letters, 2001; 343:91-98.
19. Nasiri A., Shariaty-Niasar M., Rashidi A., Amrollahi A., Khodafarin R. Effect of dispersion method on thermal conductivity and stability of nanofluid. Experimental thermal and fluid science. 2011; 4:717–723.
20. Shaik S., de Visser S.P., Kumar D. External Electric Field Will Control the Selectivity of Enzymatic-Like Bond Activations. JACS Articles, 2004; 126:11746–11749.
21. Mebel A.M., Zyubina T.S., Dyakov Y.A., Bandrauk A.D., Lin S.H. Potential energy surfaces in coulomb explosion of polyatomic molecules: benzene and cyclohexane trications and acetylene dication. International Journal of Quantum Chemistry. 2005; 102:506–519.
23. Mukherjee S., Paria S. Preparation and Stability of Nanofluids. Journal of Mechanical and Civil Engineering. 2013; 2:63–69.

Информация об авторах

Гужва Александра Артуровна, кандидат технических наук, научный сотрудник, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Россия, 193079, Россия, Санкт-Петербург, Октябрьская набережная, д. 35; РИНЦ ID: 974754; Scopus Author ID: 58166095000; ORCID: 0000-0003-3746-4135; e-mail: mif-afto@mail.ru

Скрипник Игорь Леонидович, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры пожарной безопасности технологических процессов и производств,

Information about the authors

Alexandra A. Guzhva, Candidate of Technical Sciences, Researcher, St. Petersburg University State Fire Service EMERCOM of Russia, Oktyabrskaya embankment, 35, St. Petersburg, 193079, Russian Federation; RSCI ID: 974754; Scopus Author ID: 58166095000; ORCID: 0000-0003-3746-4135; e-mail: mif-afto@mail.ru

Igor L. Skripnik, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor, Department of Fire Safety of Tech-

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Россия, 193079, Россия, Санкт-Петербург, Московский пр-кт, д. 149; РИНЦ ID: 970943; Scopus Author ID: 57210910552; ORCID: 0000-0001-6319-5413; e-mail: ig.skripnick2011@yandex.ru

Каверзнева Татьяна Тимофеевна, кандидат технических наук, доцент, доцент Высшей школы техносферной безопасности, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 195251, Россия, Санкт-Петербург, Политехническая ул., д. 29; РИНЦ ID: 704170; Scopus Author ID: 6507592108; ResearcherID: P-5020-2015; ORCID: 0000-0002-7423-4892; e-mail: kaverztt@mail.ru

Румянцева Нина Вячеславовна, кандидат технических наук, доцент, доцент Высшей школы техносферной безопасности, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 195251, Россия, Санкт-Петербург, Политехническая ул., д. 29; РИНЦ ID: 536365; Scopus Author ID: 57210920516; ResearcherID: L-6450-2018; ORCID: 0000-0001-5045-6282; e-mail: rumyantseva_nina@mail.ru

nological Processes and Production, St. Petersburg State Fire Service University of the Ministry of Emergency Situations of Russia, Moskovsky Prospekt, 149, St. Petersburg, 196105, Russian Federation; RSCI ID: 970943; Scopus Author ID: 57210910552; ORCID: 0000-0001-6319-5413; e-mail: ig.skripnick2011@yandex.ru

Tatyana T. Kaverzneva, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor, Higher School of Technosphere Safety, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Politekhnicheskaya st., 29, St. Petersburg, 195251, Russian Federation; RSCI ID: 704170; Scopus Author ID: 6507592108; ResearcherID: P-5020-2015; ORCID: 0000-0002-7423-4892; e-mail: kaverztt@mail.ru

Nina V. Rumyantseva, candidate of technical sciences, associate professor, Associate Professor, Higher School of Technosphere Safety, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Politekhnicheskaya st., 29, St. Petersburg, 195251, Russian Federation; RSCI ID: 536365; Scopus Author ID: 57210920516; ResearcherID: L-6450-2018; ORCID: 0000-0001-5045-6282; e-mail: rumyantseva_nina@mail.ru