

УДК 614.841.48

spark002@mail.ru

**РЕАЛИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ УПРАВЛЕНИЯ СВОЙСТВАМИ
НАНОСТРУКТУР В ЖИДКИХ УГЛЕВОДОРОДАХ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ
ПОЖАРНОГО РИСКА НА ОБЪЕКТАХ НЕФТЕГАЗОВОГО КОМПЛЕКСА**

**IMPLEMENTATION OF TECHNOLOGY FOR MANAGING
NANOSTRUCTURES TO REDUCE FIRE RISK IN OIL AND GAS INDUSTRY**

*Иванов А.В., кандидат технических наук, доцент,
Мифтахутдинова А.А.,
Скрипник И.Л., кандидат технических наук, доцент,
Шугаилов Р.А.,
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург*

*Ivanov A.V., Miftakhutdinova A.A.,
Scripnik I.L., Shugaibov R.A.,
Saint-Petersburg University of State Fire Service
of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg*

Представлены результаты реализации технологии для снижения величин пожарного риска на производственных объектах нефтегазового комплекса с помощью технологии управления свойствами наноструктур в жидких углеводородах. В рамках развития технологий производства материалов с заданными свойствами предложена концепция «умных материалов» для снижения пожарного риска на объектах нефтегазового комплекса.

Ключевые слова: жидкие углеводороды, «умные материалы», расчетная величина пожарного риска, модификация, стабилизация, переменный частотно-модулированный сигнал.

The results of the implementation of technology for reducing the risk of fire at the production facilities of the oil and gas complex using the technology of controlling the properties of nanostructures in liquid hydrocarbons are presented. As part of the development of technologies for the production of materials with desired properties, the concept of “smart materials” has been proposed for reducing fire risk at oil and gas facilities.

Keywords: oil product, smart materials, fire risk value, modification, stabilization, variable frequency-modulated signal.

Введение

Внедрение новых технологий нефтегазового комплекса (НГК), как правило, связано с увеличением уровня пожарной опасности, ростом вероятности возникновения пожаров и аварийных ситуаций на объектах. Наблюдается некоторое «запаздывание» в развитии технологий обеспечения пожаровзрывобезопасности от внедрения новых высокоэффективных и инновационных промышленных технологий по добыче, перера-

ботке и транспортировке нефти и нефтепродуктов [1].

При реализации мероприятий по снижению пожарного риска возникают ограничения, обусловленные «пределами роста» современных технологий обеспечения пожарной безопасности, которые связаны с невозможностью изменения физических свойств (скорость испарения, поверхностное натяжение, статическая электризация и пр.) при обращении с веществами и материалами без использова-

ния технических решений, вносящих существенные изменения в параметры технологического процесса.

Основным трендом, характеризующим переход современных технологий к более прогрессивным является разработка оперативных способов управления свойствами веществ и материалов для придания им качественно новых характеристик. Речь идет о так называемых «умных материалах» (УМ). В настоящее время применение УМ развивается в области медицины, электроники и биотехнологий и др. Углеродные наноструктуры, используемые в данном исследовании, также можно отнести к «умным материалам», так как в зависимости от внешних воздействий и факторов (электромагнитные поля, температура, pH среды) они могут существенно варьировать значения базовой среды, не изменяя ее химический состав. Успешное внедрение данной технологии возможно при решении следующих задач:

- разработки способов оперативного изменения свойств веществ на стадии применения технологий, характеризующихся наибольшей вероятностью возникновения аварийной ситуации или пожара;

- обеспечения относительно невысоких материальных затрат по внедрению УМ в действующие производства и системы обеспечения пожарной безопасности;

- исключения негативного воздействия предлагаемых технологий на человека, окружающую среду, обращающиеся в производстве вещества, материалы и изделия.

Инноватика, отраженная в исследованиях [2, 3], заключается в разработке принципов управления свойствами базовых веществ и материалов за счет изменения их наноструктуры в условиях реагентной и электрофизической модификации. Результаты проведенных исследований влияния характеризующих параметров углеродных наноструктур на процессы парообразования и электризации, позволяют сделать вывод о возможности применения наноматериалов с целью снижения интенсивности воздействия поражения людей, вследствие возможных аварийных ситуаций.

Процесс внедрения технологии создания и применения УМ для обеспечения пожарной безопасности на объектах НГК можно представить в виде функциональной блок-схемы на рисунке 1.

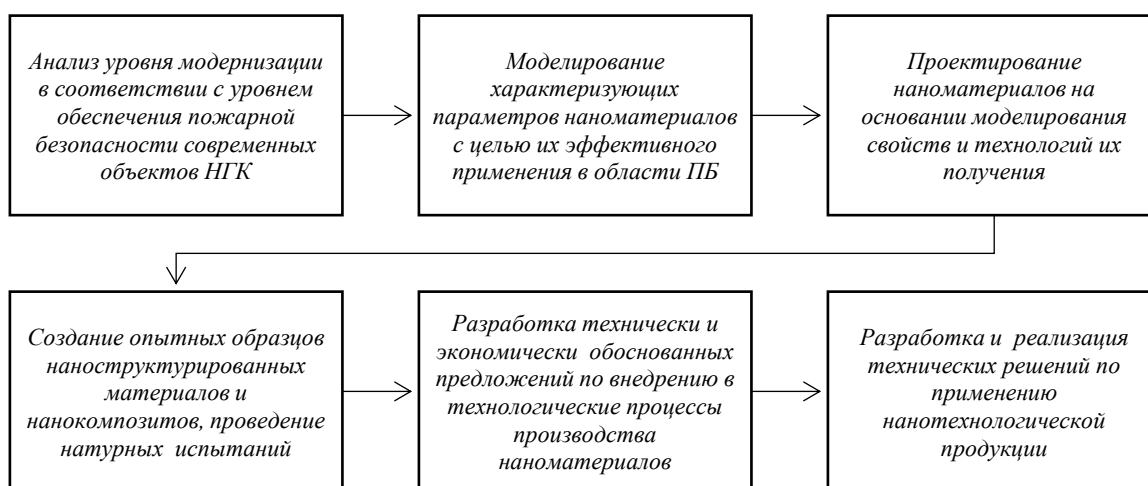


Рисунок 1. Функциональная блок-схема внедрения технологии применения «умных материалов» на объектах НГК

Технологии и технические средства применения УМ основаны на прин-

ципах управления свойствами веществ и материалов в условиях динамически из-

меняющихся технологических процессов на объектах НГК. Реализация научно-технических решений в области внедрения технологии применения УМ должно обеспечивать снижение возможных причин возникновения аварийных ситуаций, связанных с выбросом взрывопожароопасных веществ, возможностью разрядов статического электричества, как потенциального источника зажигания на объектах НГК, а также локализацию и ликвидацию последствий из возникновения.

Материалы и методы исследования

Для обоснования эффективности технологии управления свойствами углеродных наноструктур в качестве присадок с целью снижения пожарной опасности процессов при обращении жидких углеводородов на объектах НГК, произведена оценка вклада наноконпонентной присадки [4] на величины поражающих факторов при возможной аварийной ситуации с выбросом опасного вещества из оборудования. Проведен расчет условной вероятности поражения людей вследствие: избыточного давления на фронте ударной волны и импульса давления при разрыве трубопровода; интенсивности теплового излучения для «огненного шара» при разрыве трубопровода; интенсивности теплового излучения пожара пролива нефтепродукта при разрыве трубопровода; а также на величину индивидуального пожарного риска. Объектами исследования являются модифицированные многослойными углеродными нанотрубками (MWCNT) (в концентрациях 0,5 % об. и 1,0 % об.) жидкие углеводороды: этанол (ГОСТ Р 55878-2013), о-ксилол (ГОСТ 9410-78), бензин НЕФРАС С3-80/120 «БР-1» (ГОСТ 443-76), уайт-спирит НЕФРАС-С4-155/200 (ГОСТ 3134-78), керосин авиационный марки ТС-1 (ГОСТ 10227-86). MWCNT представляют собой протяженные цилиндрические и ветвящиеся наноструктуры, произведенные методом каталитического пиролиза на установке CVDomna [5].

Использование углеродных наноструктур (УНС) позволяет в значительной степени изменять свойства базовых веществ без изменения их химического состава, что делает их перспективными для развития промышленности, в том числе и для обеспечения пожарной безопасности [2, 6]. Вместе с тем существенным ограничением для технологий модификации УНС, является проблема агрегации наночастиц и их последующая седиментация, влекущая нестабильность их физико-химических свойств. Таким образом, с целью стабилизации во времени свойств полученных наножидкостей, образцы подвергались электрофизическому воздействию (ПЧМС) [7]. При воздействии переменного электрического поля с параметрами прибора ПЧМС, происходит переориентация наночастиц вдоль силовых линий приложенного электрического поля, тем самым эффект, полученные сразу после подготовки наножидкостей, сохраняются на более длительное время [3, 8].

При возникновении наиболее вероятной аварийной ситуации (авария на технологическом трубопроводе при транспортировке нефтепродуктов) на типовом технологическом участке предприятия НГК определены возможные сценарии ее развития (рис. 2), при которых на персонал и население будут воздействовать поражающие факторы.

Решающими факторами, влияющими на процессы парообразования жидких углеводородов при депонировании наноструктур, являются добротность, концентрация наночастиц в жидкостях, динамическая вязкость базовых жидкостей, поверхностное натяжение наножидкостей и диэлектрическая проницаемость [9]. При диспергировании УНС в базовые жидкости интенсивность испарения жидких углеводородов $W_{исп}$ будет изменяться [8, 9]. Поэтому при её определении возникает необходимость введения коэффициента модификации (K_M), определяющего отношение отклонения значений интенсивности испарения модифициро-

ванного УНС жидкого углеводорода ($m_{\text{ЭКС.ИСП}}^M$) к базовой жидкости ($m_{\text{ЭКС.ИСП}}^B$):

$$K_M = \frac{m_{\text{ЭКС.ИСП}}^M}{m_{\text{ЭКС.ИСП}}^B} \quad (1)$$

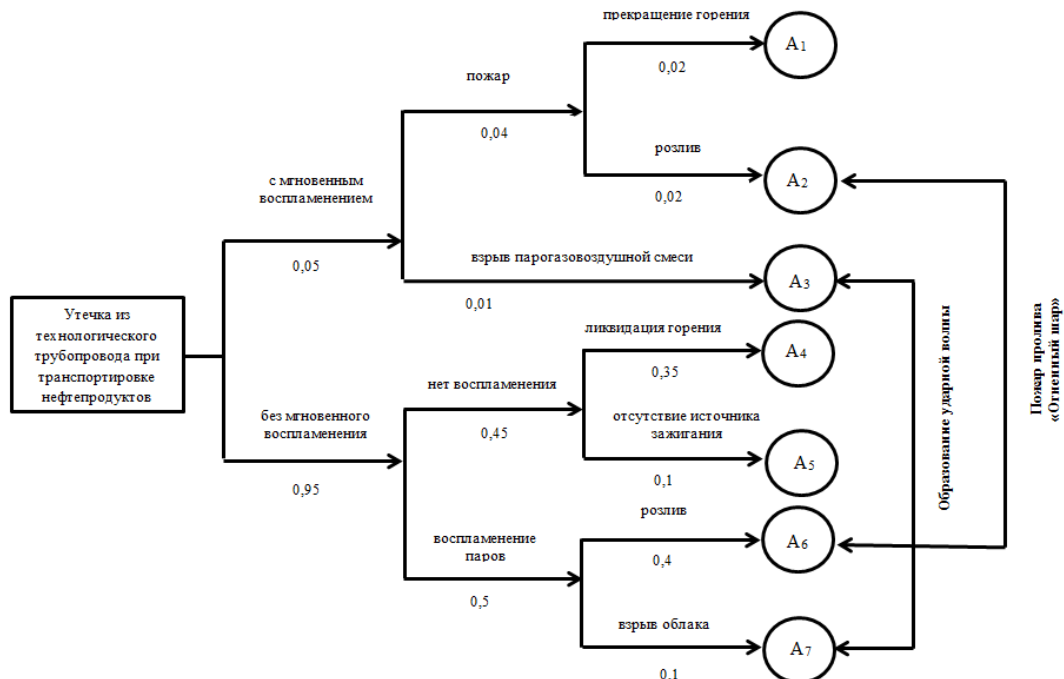


Рисунок 2. «Дерево событий» для сценария разрыва трубопровода при транспортировке нефтепродуктов [10]

При диспергировании УНС в базовые жидкости площадь пролива топлив S также будет изменяться, поэтому при её определении для жидких углеводородов с УНС возникает необходимость дополнительно включить коэффициент K_S , характеризующий отношение экспериментально полученной площади пролива 1 мл модифицированного жидкого углеводорода ($S_{\text{ЭКС.}}^M$) к базовой жидкости ($S_{\text{ЭКС.}}^B$), определяемый как:

$$K_S = \frac{S_{\text{ЭКС.}}^M}{S_{\text{ЭКС.}}^B} \quad (2)$$

При стабилизации УНС в наножидкостях на основе жидких углеводородов путем электрофизического воздействия полученных наножидкостей интенсивность испарения $W_{\text{исп}}$ и площадь пролива жидких углеводородов S также будут изменяться, поэтому при определении данных параметров для модифицированных жидких углеводородов в усло-

виях стабилизации УНС возникает необходимость ввести коэффициенты:

- k_m – коэффициент стабилизации, характеризующий отношение экспериментально полученной интенсивности испарения модифицированного УНС жидкого углеводорода в условиях стабилизации ($m_{\text{ЭКС.ИСП}}^C$) к модифицированной жидкости ($m_{\text{ЭКС.ИСП}}^M$);

- k_s – коэффициент, характеризующий отношение экспериментально полученной площади пролива 1 мл модифицированного жидкого углеводорода в условиях стабилизации УНС к модифицированной жидкости ($m_{\text{ЭКС.ИСП}}^M$):

$$k_m = \frac{m_{\text{ЭКС.ИСП}}^C}{m_{\text{ЭКС.ИСП}}^M} \quad (3)$$

$$k_s = \frac{S_{\text{ЭКС.}}^C}{S_{\text{ЭКС.}}^M} \quad (4)$$

Результаты и их обсуждение

В результате учета поправочных коэффициентов K_M и K_S , k_m и k_s в ходе

определения расчетных величин пожарного риска [11] установлено снижение условных вероятностей поражения людей опасными факторами пожара:

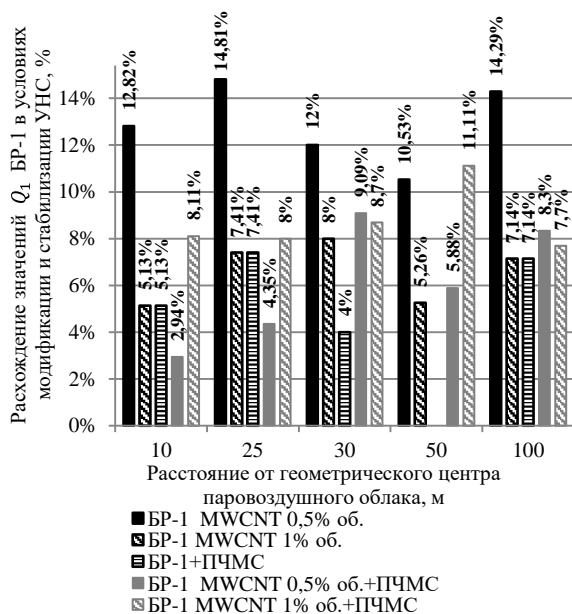
- избыточного давления на фронте ударной волны при разрыве трубопровода (Q_1);
- интенсивности теплового излучения для «огненного шара» при разрыве трубопровода (Q_2);
- интенсивности теплового излучения пожара пролива нефтепродукта при разрыве трубопровода (Q_3).

Результаты расчетов процентного расхождения значения условных вероятностей поражения людей опасными факторами пожара при разрыве трубопровода

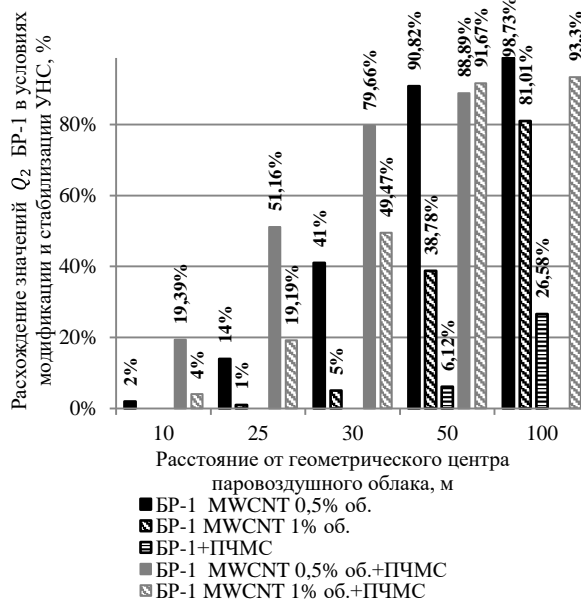
для транспортировки нефтепродуктов в условиях модификации и стабилизации УНС представлены на рисунках 3а – 3в и определялись:

$$\Delta = \frac{x_{бж}(x_{МЭкс}) - x_{МЭкс}(x_{СЭкс})}{x_{МЭкс}(x_{СЭкс})} * 100\%, \quad (5)$$

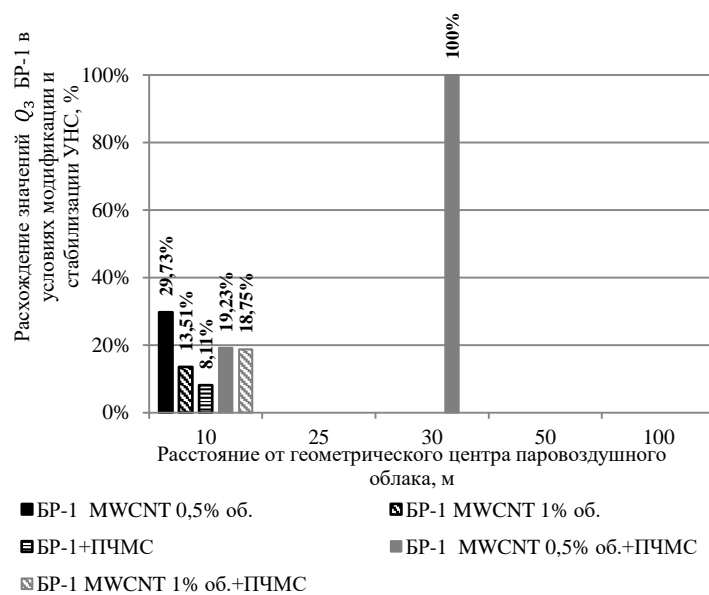
где $x_{бж}$ – значения условных вероятностей поражения людей опасными факторами пожара вследствие аварии, связанной с выбросом базовых жидкостей, $x_{МЭкс}/x_{СЭкс}$ – значения условных вероятностей поражения людей опасными факторами пожара вследствие аварии, связанной с выбросом жидкостей в условиях модификации и стабилизации УНС соответственно.



а)



б)



в)

Рисунок 3. Расхождение значений Q_1 , Q_2 и Q_3 в условиях модификации и стабилизации УНС: а) этанола, б) о-ксилола, в) бензина НЕФРАС С3-80/120 «БР-1», г) уайт-спирита НЕФРАС-С4-155/200

Значение потенциального риска для событий A_3 , A_7 (возможность образования ударной волны) и A_2 , A_6 (возможность образования «огненного шара») при максимальной условной вероятности поражения человека определялось по формуле:

$$P(A) = \sum_{i=1}^j Q_{di}(a) \cdot Q(A_i) \quad (6)$$

где $Q_{di}(a)$ – максимальная условная вероятность поражения человека, $Q(A_i)$ – вероятность реализации в течение года i -той ветви логической схемы аварии, год⁻¹.

Показатель индивидуального риска для персонала при наиболее опасном событии определялся по формуле:

$$R = P(A) \cdot q \quad (7)$$

где $P(A)$ – значение потенциального риска для наиболее опасного события, год⁻¹,

q – вероятность присутствия работников на объекте.

Согласно примерному штатному расписанию и характеру распределения работников на промышленном предприятии НГК принято, что, вероятность их присутствия на объекте за год (при 12-часовом рабочем дне; 250 рабочих дней в году) составляет:

$$q = \frac{12 \cdot 250}{365 \cdot 24} = 0,34 \quad (7)$$

При разгерметизации технологического трубопровода вероятность отказа оборудования составляет $5 \cdot 10^{-3}$, объем выброса принимается максимально возможным $0,05 \text{ м}^3$. Вероятность развития аварии по сценариям «дерева событий» составляет:

$$\begin{aligned} Q_2 &= 5 \cdot 10^{-3} \cdot 0,02 = 10^{-4} \\ Q_3 &= 5 \cdot 10^{-3} \cdot 0,01 = 5 \cdot 10^{-5} \\ Q_6 &= 5 \cdot 10^{-3} \cdot 0,4 = 2 \cdot 10^{-3} \\ Q_7 &= 5 \cdot 10^{-3} \cdot 0,1 = 5 \cdot 10^{-4} \end{aligned}$$

Таблица
Значения потенциального риска $P(A)_{3,7}$ ($P(A)_{2,6}$) и индивидуального риска $R_{3,7}$ ($R_{2,6}$) для персонала в случае реализации аварийной ситуации сценариев А₃ и А₇

№ п/п	Наименование жидкости	K_M/k_m	$P(A)_{3,7}$ год ⁻¹ , 10 ⁻⁴	$R_{3,7}$ год ⁻¹ , 10 ⁻⁵	K_S/k_s	$P(A)_{2,6}$ год ⁻¹ , 10 ⁻⁴	$R_{2,6}$ год ⁻¹ , 10 ⁻⁴
1.	Этанол	1	1,65	0,56	1	21	7,14
2.	Этанол+MWCNT 0,5% об.	0,44	1,38	0,47	0,7	13,65	4,64
3.	Этанол+ MWCNT 1,0% об.	0,52	1,43	0,49	0,77	18,48	6,28
4.	Этанол+ПЧМС	0,69	1,54	0,52	0,72	20,58	7
5.	Этанол+MWCNT 0,5% об. +ПЧМС	0,35	1,32	0,45	0,53	2,31	0,79
6.	Этанол+ MWCNT 1,0% об. +ПЧМС	0,4	1,38	0,47	0,59	7,98	2,71
7.	о-Ксилол	1	1,43	0,49	1	18,06	6,14
8.	о-Ксилол+MWCNT 0,5% об.	0,4	1,21	0,41	0,62	0,21	0,071
9.	о-Ксилол + MWCNT 1,0% об.	0,43	1,21	0,41	0,64	0,21	0,071
10.	о-Ксилол+ПЧМС	0,81	1,38	0,47	0,79	10,08	3,43
11.	о-Ксилол+MWCNT 0,5% об. +ПЧМС	0,25	1,05	0,36	0,45	0	0
12.	о-Ксилол + MWCNT 1,0% об. +ПЧМС	0,27	1,1	0,37	0,48	0	0
13.	БР-1	1	2,15	0,73	1	21	7,14
14.	БР-1+MWCNT 0,5% об.	0,47	1,87	0,64	0,72	19,32	6,57
15.	БР-1+ MWCNT 1,0% об.	0,67	1,98	0,67	0,82	21	7,14
16.	БР-1+ПЧМС	0,8	2,04	0,69	0,9	21	7,14
17.	БР-1+MWCNT 0,5% об. +ПЧМС	0,4	1,82	0,62	0,6	14,7	5
18.	БР-1+ MWCNT 1,0% об.+ПЧМС	0,47	1,87	0,64	0,75	19,53	6,64
19.	Уайт-Спирит	1	1,93	0,66	1	21	7,14
20.	Уайт-Спирит+MWCNT 0,5% об.	0,5	1,65	0,56	0,79	16,8	5,71
21.	Уайт-Спирит + MWCNT 1,0% об.	0,67	1,76	0,6	0,83	20,58	7
22.	Уайт-Спирит+ПЧМС	0,75	1,82	0,62	0,88	21	7,14
23.	Уайт-Спирит+MWCNT 0,5% об.+ПЧМС	0,42	1,6	0,54	0,7	9,66	3,28
24.	Уайт-Спирит + MWCNT 1,0% об.+ПЧМС	0,58	1,76	0,6	0,74	18,9	6,43
25.	ТС-1	1	1,43	0,49	1	18,06	6,14
26.	ТС-1+MWCNT 0,5% об.	0,5	1,21	0,41	0,64	0,21	0,07
27.	ТС-1+ MWCNT 1,0% об.	0,7	1,32	0,45	0,69	3,36	1,14
28.	ТС-1+ПЧМС	0,8	1,38	0,47	0,84	10,5	3,57
29.	ТС-1+MWCNT 0,5% об.+ПЧМС	0,4	1,16	0,39	0,56	0,21	0,07
30.	ТС-1+ MWCNT 1,0% об.+ПЧМС	0,6	1,27	0,43	0,6	0,63	0,21

Обобщенные результаты расчета значений потенциального и индивидуального пожарного риска представлены в таблице 2:

1) Проведя анализ полученных данных можно сделать вывод, для полярных жидких углеводородов значения потенциального пожарного риска в условиях модификации УНС снижаются на ~15%, для неполярных на ~10%, значения индивидуального пожарного риска для полярных жидких углеводородов снижаются на ~25%, для неполярных – на ~50%.

2) При воздействии переменного электрического поля, генерируемого

ПЧМС, значения потенциального пожарного риска снижаются на ~30–35%, значения индивидуального пожарного риска снижаются на ~20% по сравнению с жидкими углеводородами в условиях модификации УНС.

3) При использовании УНС в жидких углеводородах снижение расчетных величин пожарного риска достигается за счет создания условий стабилизации наноструктур [7], что позволяет снизить уровень пожарной опасности объектов НГК при модификации и концентраций «умных материалов» (при концентрации 0,5% об. и создании условий стабили-

зации УНС значения потенциального пожарного риска снижается на 30 – 70% по сравнению с жидкостями модифицированными УНС в концентрации 1,0%), что позволяет снизить уровень воздействия поражающих факторов в случае возникновения аварийных ситуаций на предприятиях НГК.

Выводы

1) Специфика управления пожарной безопасностью объектов НГК в условиях развития производства заключается в необходимости решения проблемы применения и реализации инновационных систем и технологий, обеспечивающих пожаровзрывобезопасность их объектов, достижения уровня конкурентоспособности и обеспечения величин пожарного риска.

2) В качестве критериев оценки эффективности применения технологии модификации и стабилизации углеродных наноструктур в среде жидких углеводородов можно использовать расчетные значения условных вероятностей поражения людей, вследствие возможного развития аварийных ситуаций (избыточное давление на фронте ударной волны, интенсивность теплового излучения для «огненного шара», интенсивность теплового излучения пожара пролива нефтепродукта).

3) По результатам проведенных исследований по определению влияния

условий модификации УНС жидких углеводородов на расчетные величины пожарного риска наблюдается снижение условных вероятностей поражения людей, вследствие реализации сценариев развития аварийной ситуации на 10 – 20%, а значения индивидуального пожарного риска снижаются в среднем на 60%. В условиях стабилизации УНС по сравнению с модифицированными жидкими углеводородами снижение значений условных вероятностей поражения людей составляет 15%, величина индивидуального пожарного риска снижается в среднем на 62% в сравнении с жидкими углеводородами в условиях модификации УНС.

4) Реализация принципов управления свойствами наноструктур позволяет управлять факторами, влияющими на уровень пожарной опасности производственного объекта НГК. Основным направлением технологии применения «умных материалов» является оперативное изменение свойств базовых жидкостей – нефтепродуктов для предупреждения возникновения взрывопожароопасных ситуаций, что позволяет уменьшить величины индивидуального и потенциального пожарного риска на объектах хранения, транспортировки и переработки нефтепродуктов.

Литература

1. Faisal Khan et al. Dynamic risk management: a contemporary approach to process safety management // *Current Opinion in Chemical Engineering*. – 2016. – № 14. – P. 9–17. DOI: 10.1016/j.coche.2016.07.006.
2. Иванов А. В. и др. 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.
3. Иванов А. В. и др. Физико-технологические принципы и методика управления пожароопасными процессами при обращении с жидкими углеводородами в условиях стабилизации углеродных наноструктур // *Пожаровзрывобезопасность*. – 2018. – Т. 27, № 12. – С. 7–18. DOI: 10.18322/PVB.2018.27.12.7-18.
4. Заявка на патент на изобретение № 2018138816 (064514) от 02.11.2018. Способ снижения электризации жидких углеводородов при обращении с ними / А. В. Иванов, А. А. Мифтахутдинова, А. Ю. Соколин, М. А. Симонова, Г. К. Ивахнюк, Л. В. Медведева.
5. Shah N., Panjala D., Huffman G. P. Hydrogen production by catalytic decomposition of methane // *Energy & Fuels*. – 2001. – Vol. 15, № 6. – P. 1528–1534. DOI: 10.1021/ef0101964.
6. 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.

7. Пат. 2479005 Российская Федерация. МПК G05B 24/02 (2006.01), H03B 28/00 (2006.01). Способ и устройство управления физико-химическими процессами в веществе и на границе раздела фаз / Г. К. Ивахнюк, В. Н. Матюхин, В. А. Клачков, А. О. Шевченко, А. С. Князев, К. Г. Ивахнюк, А. В. Иванов, В. А. Родионов. – №2011118347/08; заявл. 21.01.2010; опубл. 10.04.2013, Бюл. № 10.

8. Иванов А. В. и др. Условия стабилизации наноструктур для безопасной транспортировки легко-воспламеняющихся жидкостей // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. – 2017. – Т. 26, № 9. – С. 35–43. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.09.35-43.

9. 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.

10. Постановление Госгортехнадзора России от 26.04.2000 № 23 / РД 03-357-00 Методические рекомендации по составлению декларации промышленной безопасности опасного производственного объекта.

11. Приказ МЧС РФ от 10 июля 2009 г. № 404 «Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах».

References

1. Faisal Khan, Seyed Javad Hashemi, Nicola Paltrinieri, Paul Amyotte, Valerio Cozzani and Genserik Reniers Dynamic risk management: a contemporary approach to process safety management // Current Opinion in Chemical Engineering. – 2016. – No. 14. – P. 9-17. DOI: 10.1016/j.coche.2016.07.006.

2. Ivanov A.V., Sorokin A.YU., Ivahnyuk G.K., Demekhin F.V. Upravlenie ehlektricheskimi svoystvami zhidkih uglevodorodov, modifitsirovannykh uglevodnymi nanostrukturami // Pozharovzryvobezopasnost'. – 2017. T. 26 № 7. – S. 16-27. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.07.16-27.

3. Ivanov A.V., Miftahutdinova A.A., Ivahnyuk G.K., Basharichev A.V. Fiziko-tekhnologicheskie principy i metodika upravleniya pozharoopasnymi processami pri obrashchenii s zhidkimi uglevodorodami v usloviyah stabilizatsii uglevodnykh nanos-truktur // Pozharovzryvobezopasnost' / Fire and Explosion Safety. – 2018. T. 27 № 12. – S. 7-18. DOI: 10.18322/PVB.2018.27.12.7-18.

4. Zayavka na patent na izobretenie № 2018138816 (064514) ot 02.11.2018 g. Sposob snizheniya ehlektricheskoi zhidkih uglevodorodov pri obrashchenii s nimi Ivanov A.V., Miftahutdinova A.A., Sorokin A.YU., Simonova M.A., Ivahnyuk G.K., Medvedeva L.V.

5. 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.

6. Ivanov A.V., Ivahnyuk G.K., Medvedeva L.V. Metody upravleniya svoystvami uglevodorodnykh zhidkostey v zadachah obespecheniya pozharnoj bezopasnosti // Pozharovzryvobezopasnost'. — 2016. T. 26, № 9. — S. 30-37. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.09.30-37.

7. Пат. 2479005 Rossijskaya Federaciya. MPK G05B 24/02 (2006.01), H03B 28/00 (2006.01). Sposob i ustrojstvo upravleniya fiziko-himicheskimi processami v veshchestve i na granice razdela faz. / Ivahnyuk G. K., Matyuhin V. N., Klachkov V. A., Shevchenko A. O., Knyazev A. S., Ivahnyuk K. G., Ivanov A. V., Rodionov V. A., — № 2011118347/08; zayavl. 21.01.2010; opubl. 10.04.2013, Byul. № 10.

8. Ivanov A. V., Miftahutdinova A. A., Nefed'ev S. A., Simonova M. A., Maslakov M. D. Usloviya stabilizatsii nanostruktur dlya bezopasnoj transportirovki leg-kovosplamenyayushchih zhidkostey // Pozharovzryvobezopasnost' / Fire and Explosion Safety. — 2017. — T. 26, № 9. — S. 35–43. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.09.35-43.

9. Miftahutdinova A.A., Ivanov A.V., Ivahnyuk G.K. Modelirovanie processov ehlektricheskoi zhidkih uglevodorodov v usloviyah stabilizatsii uglevodnykh nanostruk-tur // Tekhnosfernaya bezopasnost' . — 2018. — T. 21, № 4. — S. 36–44.

10. Postanovlenie Gosgortekhnadzora Rossii ot 26.04.2000 № 23 / RD 03-357-00 Me-todicheskie rekomendatsii po sostavleniyu deklaratsii promyshlennoj bezopasnosti opasnogo proizvodstvennogo ob"ekta.

11. Prikaz MCHS RF ot 10 iyulya 2009 g. № 404 «Ob utverzhenii metodiki opredeleniya raschetnykh velichin pozharного riska na proizvodstvennykh ob"ektah».