

НАНОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПРИ ОБЕСПЕЧЕНИИ ПОЖАРНОЙ И ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ИННОВАЦИОННЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

**А.В. Иванов, кандидат технических наук, доцент;
Г.К. Ивахнюк, доктор химических наук, профессор;
Л.В. Медведева, доктор педагогических наук, профессор,
заслуженный работник высшей школы Российской Федерации.
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Представлены направления использования безреагентных (на основе электрофизического метода управления) и реагентных (на основе углеродных нанотрубок) способов обеспечения пожарной и промышленной безопасности инновационных промышленных предприятий.

Ключевые слова: электрофизический метод управления, многослойные углеродные нанотрубки, пожарная и промышленная безопасность

NANOTECHNOLOGY SOLUTIONS WHILE ENSURING FIRE AND INDUSTRIAL SAFETY OF INNOVATIVE INDUSTRIAL ENTERPRISES

A. V. Ivanov; G. K. Ivakhnyuk; L. V. Medvedeva.
Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

Presents ways of use of reagent-free (based on electrophysical method of control) and reagent (carbon nanotube) ways to ensure fire and industrial safety of innovative industrial enterprises.

Keywords: electrophysical control technique, multi-walled carbon nanotubes, fire and industrial safety

Развитие инновационного промышленного производства достаточно часто связано с внедрением новых материалов с более совершенными эксплуатационными свойствами. Применение таких материалов связано с усложнением технологических процессов, внедрением дополнительных технических и организационных мероприятий, что зачастую приводит к усложнению технологии и возникновению дополнительных рисков при обеспечении безопасной эксплуатации оборудования. Обеспечение промышленной и пожарной безопасности предприятий инновационного профиля связано с развитием научных разработок в области нанотехнологий, в том числе проведение научных изысканий по направлениям исследования способов управления характеристиками веществ, создания материалов с регулируемой наноструктурой.

Согласно нормативным документам Российской Федерации [1] при оценке пожарной опасности технологических процессов, наряду с другими показателями, необходимо учитывать интенсивность испарения легковоспламеняющихся и горючих веществ, параметры истечения для жидкостей и газов, значения концентрированных пределов распространения пламени для горючих смесей в технологических аппаратах и оборудовании, а также технические решения по тушению пожаров и проведению аварийно-спасательных работ, обеспечению огнезащитной эффективности.

Существующие способы изменения характеристик наноструктуры веществ и материалов можно условно разделить на безреагентные и реагентные. Безреагентные способы модификации позволяют изменить физические и эксплуатационные свойства веществ при воздействии электрических и магнитных полей. Реагентные способы за счет внедрения углеродных наноструктур, к примеру углеродных нанотрубок (УНТ), позволяют осуществлять реверсивное управление свойствами веществ и материалов, без изменения химического состава базовой составляющей.

При безреагентном способе управления свойствами материалов с заданными характеристиками предлагается использовать электрофизический метод (ЭФМ), основой которого является метод управления характеристиками веществ и материалов на границе раздела фаз при помощи переменного частотно-модулированного потенциала (ПЧМП) (рис. 1). В режиме резонанса напряжений (1) ЭФМ позволяет воздействовать на структуру вещества, в режиме резонанса токов (2) – минимизирует электрическое сопротивление цепи, что обеспечивает нейтрализацию электростатических зарядов систем [1].

Метод позволяет создавать:

- технологии получения нанобъемов огнетушащих веществ (ОТВ), флегматизаторов, ингибиторов, взрывчатых веществ, сельскохозяйственных удобрений и медикаментов;
- обеспечивать термохимический синтез наночастиц с высокой охлаждающей поверхностью в очаге пожара.

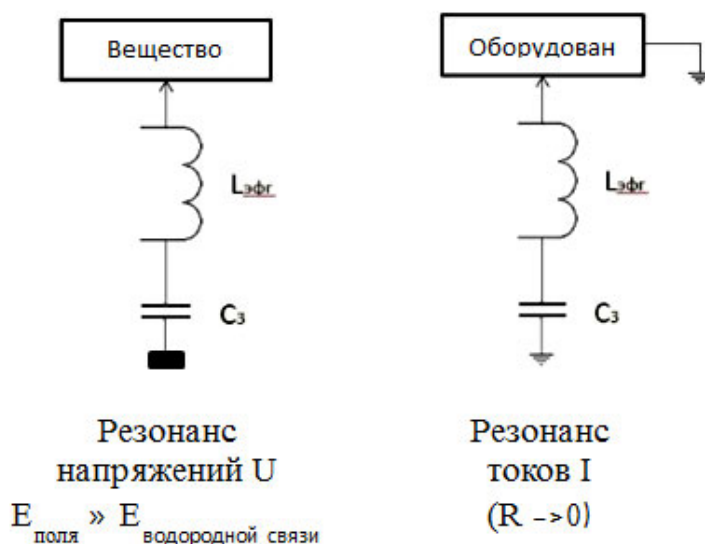


Рис 1. Эквивалентные схемы электрофизического метода управления

Основными причинами агрегации наночастиц является невозможность их локализации в пространстве вследствие зарядов статического электричества.

Для решения этих задач предлагается (рис. 2):

- метод адсорбционного диспергирования и локализации в микро- (1–10 нм) или мезо- (10–100 нм) порах наночастиц веществ с последующим применением их в виде своеобразных соответствующих размеров композитов (производство полимерных материалов, усиление резины и т.д.);
- метод нейтрализации образующихся зарядов статического электричества – главной причины агрегации наночастиц при диспергировании, конденсации, коалесценции и коагуляции [2].

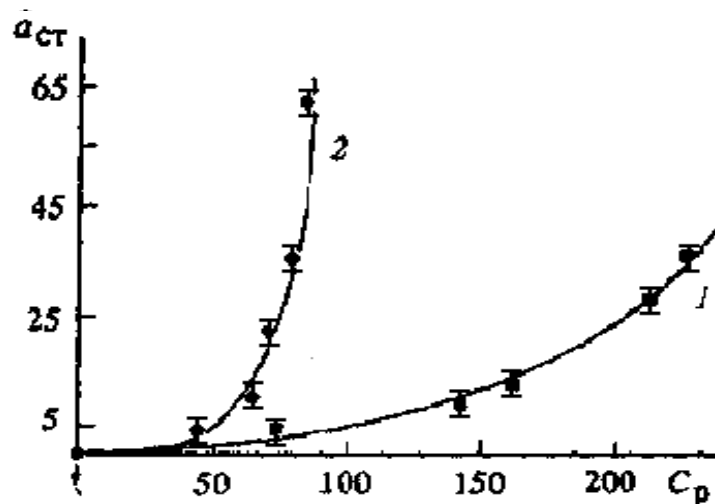


Рис. 2. Изотермы адсорбции моющего средства СФ-3 на активном угле марки БАУ из исходного раствора, имеющего показатель ХПК ($мг\ O^2\ л^{-1}$) 400 ед:
 $a_{ст}$ – статическая адсорбция ПАВ (ед. ХПК $г^{-1}$);
 C_p – равновесная концентрация СФ-3 (ед. ХПК), 1-50 °С, 2-20 °С

При исследовании изменения размеров кластеров воды методом лазерного светорассеяния отмечено, что в условиях воздействия ПЧМП происходит увеличение концентрации кластеров воды при одновременном уменьшении их размеров, что позволяет управлять различными параметрами и характеристиками растворов на основе модифицированной воды [3].

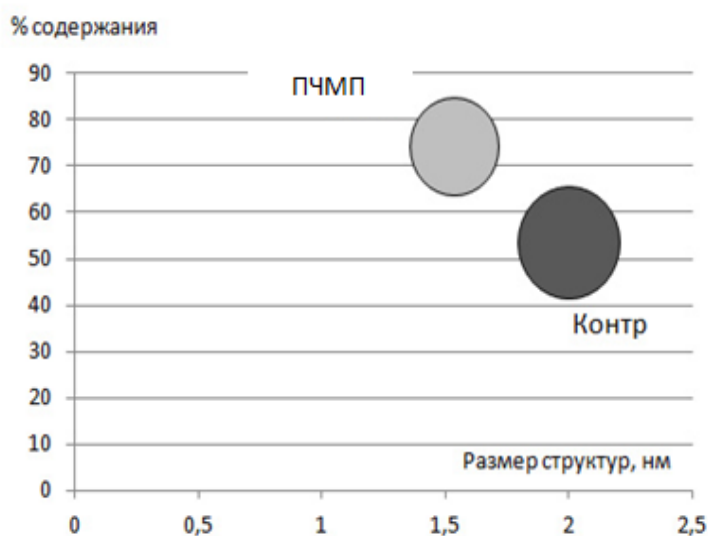


Рис. 3. Перераспределение количества и размеров кластеров воды при воздействии ПЧМП (50 Гц, 220 В, время воздействия – 20 мин)

Модифицированная вода может быть использована для систем пожаротушения, дымоподавления и снижения концентрации токсичных газов.

Расход модифицированной воды при тушении пожара класса «А» сокращается на 18 % в сравнении с контрольными испытаниями (табл. 1).

Таблица 1. Масса вещества, израсходованного на тушение модельного очага класса «А»

ОТВ	Масса воды, г	
	Компактная струя	Распыленная струя
Вода	340±10	256±8
Структурированная вода	280±20	237±10,1

Экспериментально установлено, что электрофизическое воздействие на воду и водные растворы пенообразователя способствует повышению устойчивости воздушно-механической пены и снижению критической концентрации мицеллообразования (табл. 2) [4].

Таблица 2. Свойства воздушно-механической пены при воздействии ПЧМП

Вода	Концентрация ПАВ, мг/л	Объем воздушно-механической пены, см ³
Исходная	1	6,4
	2	14,6
	3	11,2
После электрофизической обработки	1	7,0
	2	15,8
	3	14,2

Применение водногелевых составов (ВГС) на основе модифицированной воды позволяет сократить время тушения пожара и обеспечить эффективную тепловую защиту конструкций зданий, сооружений и транспортных средств в условиях пожара (табл. 3). Также следует отметить, что модифицированные ВГС оказывают обезболивающее, регенерирующее, противоотечное и анестезирующее действие при травматических состояниях человека (термических лучевых и химических ожогах) [5].

Таблица 3. Время тушения и расход ВГС при тушении пожара класса «А»

№ п.п.	Массовая концентрация карбопола, %	ПЧМП (U=36 В, f=50 Гц)	Время тушения, мин	Расход ОТВ, л
1	0 %	–	39	0,45
2	0,10 %	–	38	0,38
3	0,10 %	+	35	0,375
4	0,20 %	–	32	0,35
5	0,20 %	+	21	0,3
6	0,25 %	–	17	0,21
7	0,25 %	+	13	0,16

Немаловажную роль при оценке возможности воспламенения взрывоопасных смесей легковоспламеняющихся жидкостей (ЛВЖ) при возникновении разрядов статического электричества (СЭ) играет значение электрического сопротивления заземлителя и среды [6].

Применение ЭФМ позволяет снизить напряженность электрических полей, возникающих в процессе транспортировки, диспергирования и распыла взрывопожароопасных веществ

и материалов. Тем самым значительно снижается вероятность возникновения взрыва вследствие разрядов статического электричества. На рис. 4 представлено распределение напряженности электрического поля, создаваемого в технологическом процессе микрокапсулирования. Снижение напряженности электрического поля при воздействии ПЧМП в 3–5 раз ниже в сравнении с заземлителями, стандартно применяющимися на производстве [7].

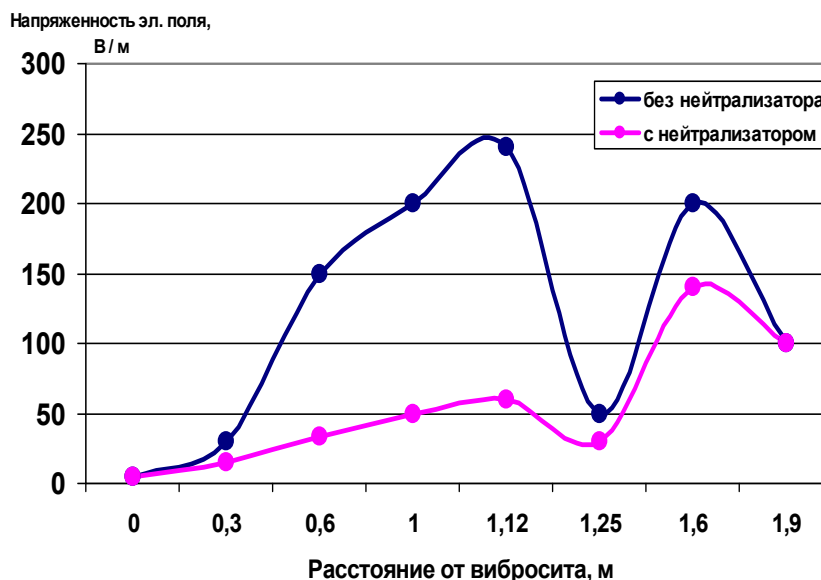


Рис. 4. Напряженность электрического поля в технологическом процессе микрокапсулирования горючих материалов

Использование ЭФМ позволяет повысить эффективность снятия электростатического заряда, возникающего при транспортировке углеводородных жидкостей, на 30–90 % (табл. 4) [8].

Таблица 4. Напряженность электрического поля при транспортировке углеводородных жидкостей

Вещество	Напряженность эл. поля, мВ/м	
	Октан	контрол.
заземлитель		6,6±0,4
ПЧМП		2,6±0,4
Этиловый спирт	контрол.	10,4±0,41
	заземлитель	3,4±0,41
	ПЧМП	1,6±0,5
Бензин А-92	контрол.	164,4±0,41
	заземлитель	105±3,2
	ПЧМП	87±3,2

В качестве реагентного способа управления может быть использована технология создания наножидкостей (НЖ) на основе многослойных УНТ (MWCNT), полученных методом каталитического пиролиза. Функционализация MWCNT возможна в процессе отжига в муфельной печи при температуре 250...300 °С и последующем окислении в азотной кислоте. В проведенном исследовании использовались функционализированные MWCNT и нефункционализированные УНТ со следами аморфного углерода. В качестве базовой жидкости применялся этанол.

При воздействии ПЧМП происходит изменение величины электрического заряда в двойном электрическом слое, что приводит к отталкиванию между нанокластерами. В результате происходит переориентация (выстраивание) УНТ вдоль одной оси и уменьшение количества агломераций УНТ в сравнении с контрольными образцами, что исключает одну из причин возникновения физико-химической анизотропии в системе наножидкости [9].

Измерение электропроводности НЖ, модифицированных MWCNT в концентрации 0,02...1,6 об.%, проводилось с помощью моста постоянного тока [10]. В базовой жидкости происходило диспергирование УНТ в течение 10–15 мин при температуре 25 °С. Из проведенных наблюдений можно сделать вывод об увеличении электропроводности НЖ на основе MWCNT до 2,5 раз для функционализированных УНТ и до 1,8 раз для нефункционализированных УНТ.

Следует отметить, что для нефункционализированных УНТ аномальный рост электропроводности при концентрации до 0,1 об.%, однако затем происходит ее уменьшение. Можно предположить, что это связано с более высокой скоростью образования агломераций наночастиц для нефункционализированных УНТ. Электрическая проводимость НЖ при небольших объемных долях УНТ имеет перколяционный характер, в соответствии с которым нанотрубки во взаимодействии друг с другом образуют в системе базовой жидкости проводящие каналы. Таким образом, при малом содержании присадки небольшое ориентационное упорядочение приводит к повышению электропроводности.

Исследование изменения давления насыщенного пара в условиях модификации MWCNT (0,05...0,2 %) УНТ проводилось по ГОСТ 1756–2000. Наблюдалось снижение скорости роста давления насыщенного пара этанола в условиях воздействия ПЧМП при диссоциации MWCNT в НЖ. Стабилизация давления насыщенного пара в образце происходит соответственно для этанола с УНТ на 20 мин, в то время как для контрольного образца на 40 мин, для НЖ с УНТ при воздействии ПЧМП на 50 мин. Данный эффект может быть объяснен при допущении, что время релаксации для жидкости с УНТ без внешнего воздействия достигается значительно раньше, нежели при воздействии ПЧМП [11].

Выводы

1. Экспериментально подтверждена эффективность, техническая доступность и возможность использования ЭФМ при управлении свойствами веществ и материалов, используемых при тушении пожаров и проведении аварийно-спасательных работ.

2. УНТ оказывают влияние на электрофизические и пожароопасные свойства жидкости, а именно повышают электропроводность и вязкость, снижают скорость испарения и величину давления насыщенного пара, что ограничивает возможность образования горючей среды и вероятного источника зажигания – искровых разрядов статического электричества.

3. Механизм управления свойствами НЖ зависит от физических свойств жидкости и наночастиц, а также параметров внешнего воздействия.

4. Применение ПЧМП позволяет управлять пожарным риском на предприятиях нефтегазового комплекса без использования дополнительных реагентов, как правило, меняющих качественный состав базовой жидкости, что особенно важно в технологиях синтеза материалов с различными функциональными свойствами.

5. Научно обоснованные технологические решения (электрофизические и нанотехнологические методы) позволяют расширить спектр мероприятий по обеспечению пожарной и промышленной безопасности в условиях интенсификации производства и внедрению технологий инновационных промышленных предприятий.

Литература

1. Способ и устройство управления физико-химическими процессами в веществе и на границе раздела фаз: пат. 2479005 Рос. Федерация // Электронная база патентов. URL: <http://www.freepatent.ru/patents/2479005> (дата обращения: 03.06.2016).
2. Иванов А.В., Капитоненко З.В. Адсорбционные и электрофизические методы синтеза наноматериалов // Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (техн. ун-та). 2011. № 12.
3. Алексеик Е.Б., Савенкова А.Е., Гемшиш З. Влияние переменных электрических полей на процессы создания и стабилизации воздушно-механических пен // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2013. № 4. С. 44–49.
4. Алексеик Е.Б., Никитин Н.А., Савенкова А.Е. Применение электрофизического метода повышения эффективности огнетушащих составов на основе воды // Проблемы управления рисками в техносфере. 2013. № 4 (28). С. 16–19.
5. Пань Ю., Цыган В.Н., Коваленко А.В. Электрофизиологические возможности саногенетического обезболивания: монография / под ред. Г.К. Ивахнюка, Е.В. Зиновьева. СПб., 2016. 154 с.
6. ГОСТ Р 52274. Электростатическая искробезопасность. Общие технические требования и методы испытаний. М.: ИПК Изд-во стандартов, 2005. 14 с.
7. Иванов А.В. Электрофизический метод нейтрализации статического электричества при пневмотранспорте твердых горючих материалов: автореф. дис. ... канд. техн. наук. СПб.: С.-Петерб. ун-т ГПС МЧС России, 2006.
8. Симонова М.А. Электрофизический способ снижения пожарной опасности хранения и транспортировки углеводородных топлив: автореф. дис. ... канд. техн. наук. СПб.: С.-Петерб. ун-т ГПС МЧС России, 2011.
9. Alignment of carbon nanotubes comprising magnetically sensitive metal oxides in heat transfer nanofluids / H. Hong [et al.] // *Thermochimica Acta*. 2011. Т. 525. № 1. С. 87–92.
10. Ларионов В.В., Веретельник В.И., Тюрин Ю.И., Чернов И.П. Физический практикум. Ч. 2: Электричество и магнетизм. Колебания и волны: учеб. пособие для студентов высших учебных заведений. Томск: Изд-во Томского ун-та, 2004. 258 с.
11. Иванов А.В., Ивахнюк Г.К. Применение электрофизического метода управления процессами парообразования легковоспламеняющихся жидкостей в условиях модификации углеродными наноконпонентами // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2015. № 3. С. 1–9.