

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ОБОСНОВАНИЯ МЕТОДА СНИЖЕНИЯ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ СПИРТОВ С ПОМОЩЬЮ МОДИФИКАЦИИ МНОГОСЛОЙНЫМИ УГЛЕРОДНЫМИ НАНОТРУБКАМИ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

А.В. Иванов, кандидат технических наук, доцент;

А.А. Мифтахутдинова.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России

Представлено обоснование реагентного метода нейтрализации статического электричества путем снижения электростатической опасности спиртов с помощью модификации углеродными многослойными нанотрубками.

Ключевые слова: легковоспламеняющиеся жидкости, электрическая проводимость, многослойные углеродные нанотрубки, спирт этанол, наножидкость

THEORETICAL AND EXPERIMENTAL SUBSTANTIATION METHOD OF REDUCING THE RISK ELECTROSTATIC ALCOHOLS BY MODIFICATION OF MULTIWALL CARBON NANOTUBES FOR FIRE SAFETY

A.V. Inanov; A.A. Miftakhutdinova.

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

There is described study reagent method of neutralization of static electricity by reducing the danger of electrostatic alcohols by modification of carbon multiwalled nanotubes.

Keywords: flammable liquids, electrical conductivity, multiwall carbon nanotubes, ethanol, nanofluids

Электронасыщенность современного производства формирует электрическую опасность, источником которой могут быть электрические сети, электрифицированное оборудование и инструмент, вычислительная и организационная техника, работающая на электричестве, а также технологическое оборудование, которое в процессе работы накапливает заряд статического электричества (СЭ). Под статическим электричеством подразумевают совокупность явлений, связанных с возникновением, сохранением и релаксацией свободного электрического заряда на поверхности и в объеме диэлектриков и полупроводников, изделий на изолированных (в том числе диспергированных (лат. *dispergo* – рассеивать; порошки, эмульсии) в диэлектрической среде) проводниках [1].

Пожарная опасность процессов транспортировки легковоспламеняющихся и горючих жидкостей очень велика. Одной из проблем транспортировки на сегодняшний день является обеспечение электростатической безопасности таких процессов. Согласно ст. 95 [1], перечень потенциальных источников зажигания пожароопасной технологической среды определяется посредством сопоставления параметров технологического процесса и иных источников зажигания с показателями пожарной опасности веществ и материалов.

В процессе налива, слива и перевозки легковоспламеняющихся и горючих жидкостей в резервуарах и емкостях в результате разбрызгивания происходит электризация жидкости, что способствует возникновению статического электричества.

Разряды СЭ, в свою очередь, способны зажигать смеси горючих газов, паров или пылей с воздухом или другими окислителями. В этих случаях разряды СЭ рассматриваются в качестве источника зажигания, который является одной из причин возникновения пожаров и загорания с материальным ущербом, и (или) травматизма, и (или) гибели людей.

Для предупреждения и снижения опасных последствий электризации разрабатывают и применяют различные методы и средства защиты от СЭ, включающие в себя: заземляющие устройства, нейтрализаторы, применение добавок (антиэлектростатические вещества).

Антистатические присадки, добавляемые в диэлектрические вещества и влияющие на их объемную проводимость, добавляются в жидкие топлива и в твердые материалы. Недостатком данного способа является влияние присадок на структуру веществ, ухудшая их качество.

Разработка и внедрение наноматериалов и технологий в производство и промышленность относят к «ключевым» аспектам обеспечения безопасности. Одним из приоритетных направлений является использование и разработка реагентных методов создания наножидкостей (НЖ) с регулируемыми параметрами для обеспечения пожарной безопасности производств.

К наноматериалам условно относят дисперсные и массивные материалы, содержащие структурные элементы (зерна, кристаллиты, блоки, кластеры), геометрические размеры которых хотя бы в одном измерении не превышают 100 нм, и обладающие качественно новыми свойствами, функциональными и эксплуатационными характеристиками. В качестве наноматериала используются многослойные углеродные нанотрубки (МУНТ) [3].

МУНТ привлекли интерес тем, что являются материалом со способностью высокой степени очистки, их длинные дистанции кристаллического порядка, и их способность быть диспергированными в жидкости, позволяющие получить стабильные суспензии. Они являются хорошо организованными нанотрубками, благодаря своим особым хорошим качествам для оценки их свойств на основе наножидкости. В связи с этим, для подготовки стабильных суспензий, содержащие разные количества нанотрубки и измерения их электрических проводимостей, был применен метод ультразвукового воздействия, благодаря чему МУНТ диспергируют в системе жидкости. Во время ультразвуковой обработки, используемой для приготовления подвески, происходит дефект изначально длинных нанотрубок. Средняя длина нанотрубок уменьшается при ультразвуковом воздействии, а стабилизация увеличивается.

МУНТ получены методом каталитического пиролиза на установке роста многослойных углеродных нанотрубок *CVD_{Domna}* [4]. В качестве базовой жидкости использовался этиловый спирт марки «Экстра» [5].

Электропроводность наножидкостей еще не была широко изучена в сравнении с их теплопроводностью. Электропроводность суспензии может как увеличиться, так и уменьшиться в зависимости от количества привнесенных добавок и заряда частицы. Ранее была предложена аналитическая модель, объясняющая воздействие размера частиц и концентрации на электропроводность наножидкости (рис. 1).

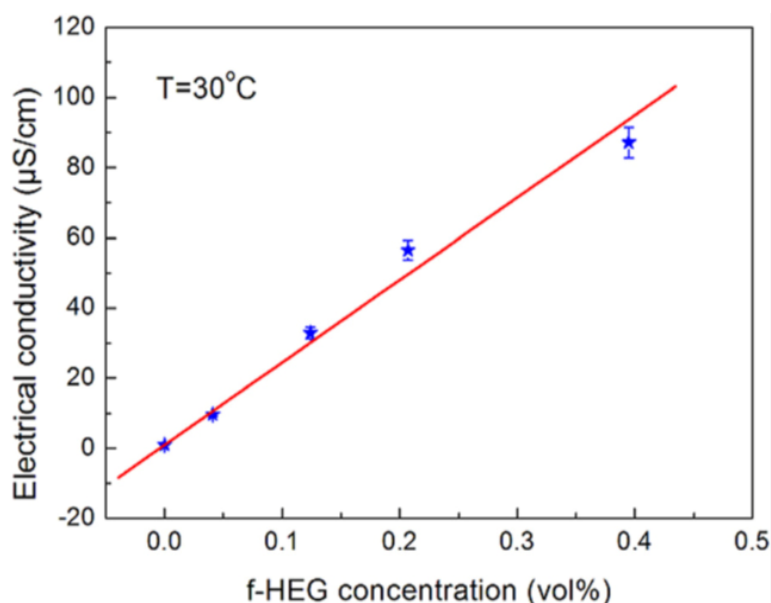


Рис. 1. Электропроводность как функция зависимости от концентрации при комнатной температуре по данным [6]

Электропроводность наножидкости на базе воды возрастает линейно с увеличением объемной концентрации функционализированных нанотрубок (рис. 1). Электрическая проводимость базовой жидкости увеличивается от 1 $\mu\text{S}/\text{cm}$ до 87,2 $\mu\text{S}/\text{cm}$. При добавлении 0,395 % об. соответствует аномальное повышение 8 620 %. Ранее были проведены исследования, в которых наблюдалось повышение электропроводности на 1 400 % при добавлении УНТ 0,03 об.% в воду. Но в случае, например, как базовой жидкости – масла, то прирост электропроводности составил лишь 220 %. В обоих случаях электропроводность возрастала с увеличением объема концентрации.

Для проведения исследования по определению влияния углеродных наноразмерных частиц на электрофизические свойства спирта был выбран мостовой метод измерения, поскольку точные измерения с прямым отсчетом позволяют производить только мостовые методы. Прибор, выбранный для измерения электрофизических свойств мост постоянного тока переносной типа МО – 62. Мост позволяет измерять сопротивления в пределах от 10^{-4} до 10^6 Ом при относительной погрешности 0,1 % [6] (рис. 2).

Наножидкость помещалась в стеклянный сосуд, затем ставилась в генератор ультразвука с частотой 100 кГц, под действием которого МУНТ диспергировались в базовой жидкости. Применение ультразвука основано на возникновении под его воздействием в жидкости различных нелинейных эффектов. К ним относится кавитация, акустические течения, звуковое давление. Основную роль в растворении играет кавитация. При этом пузырьки, возникая и схлопываясь вблизи нанотрубок, разделяли их.

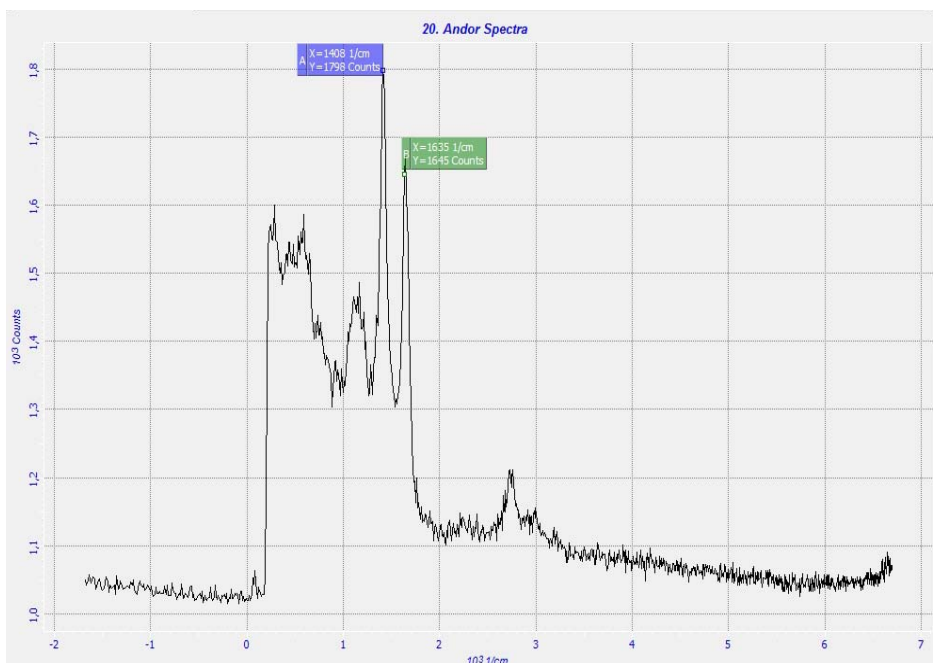


Рис. 2. Спектры комбинационного рассеяния нефункционализованных, содержащих аморфный углерод МУНТ

Приготовление стабильных суспензий МУНТ включает в себя разрушение агломераций в результате воздействия ультразвука и стабилизируются в суспензии. МУНТ являются гидрофобными и без каких-либо поверхностно-активные веществ, МУНТ в суспензии жидкости отделяются и стабилизируются, при нахождении в НЖ под действием гравитационных сил. Можно заметить, что длина нанотрубок сильно сокращается после разрушения ультразвуком. Начиная с начальной средней длины около 300 мкм, МУНТ могут быть разбиты в длину около нескольких микрометров через 10–20 мин.

Электрическое сопротивление в НЖ измерялось между двумя электродами, расположенными в емкости с жидкостью. Для измерения используется мостовая схема, питаемая переменным током. Исследуемое в работе сопротивление представляет собой два медных провода сечением 1,5 мм, расположенных на расстоянии 1 см и помещенных в стеклянный сосуд с НЖ (рис. 3).

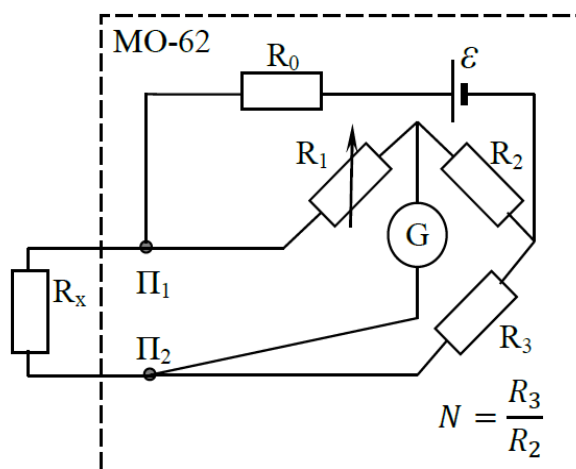


Рис. 3. Двухзажимная схема измерения сопротивления

Измерения сопротивления НЖ проводились несколько раз с последующим повышением объемной концентрации (от 0,02 % об. до 0,1 % об. с шагом две сотых и с последующим измерением от 0,2 % об. до 2 % об. с шагом две десятых) МУНТ (рис. 4).

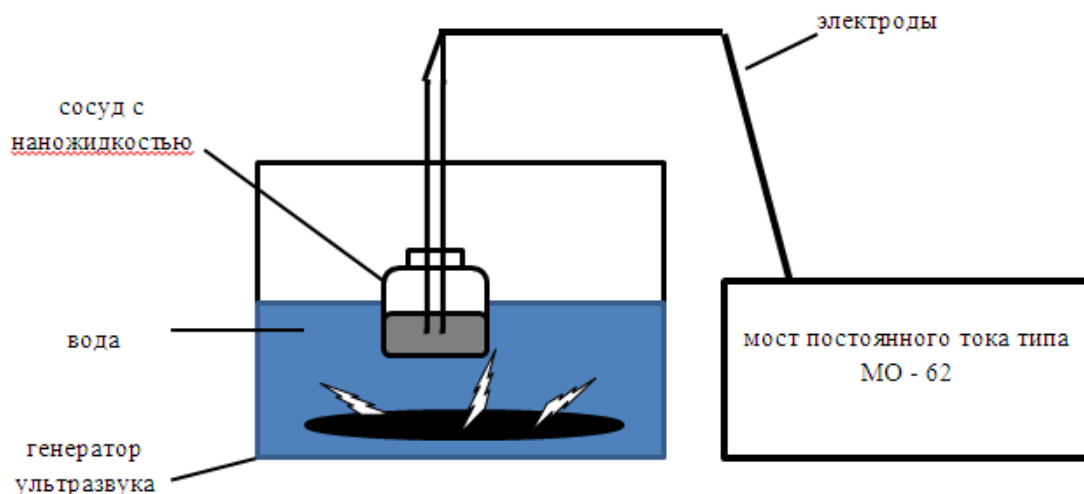


Рис. 4. Схема установки измерений

В неполярных жидкостях электропроводность в основном определяется примесями, так как диссоциация собственных молекул очень мала. Анализ результатов измерений показал, что с увеличением концентрации многослойных углеродных нанотрубок электропроводность НЖ увеличилась в несколько раз в сравнении с базовой жидкостью.

Результаты экспериментальных данных показаны на рис. 5.

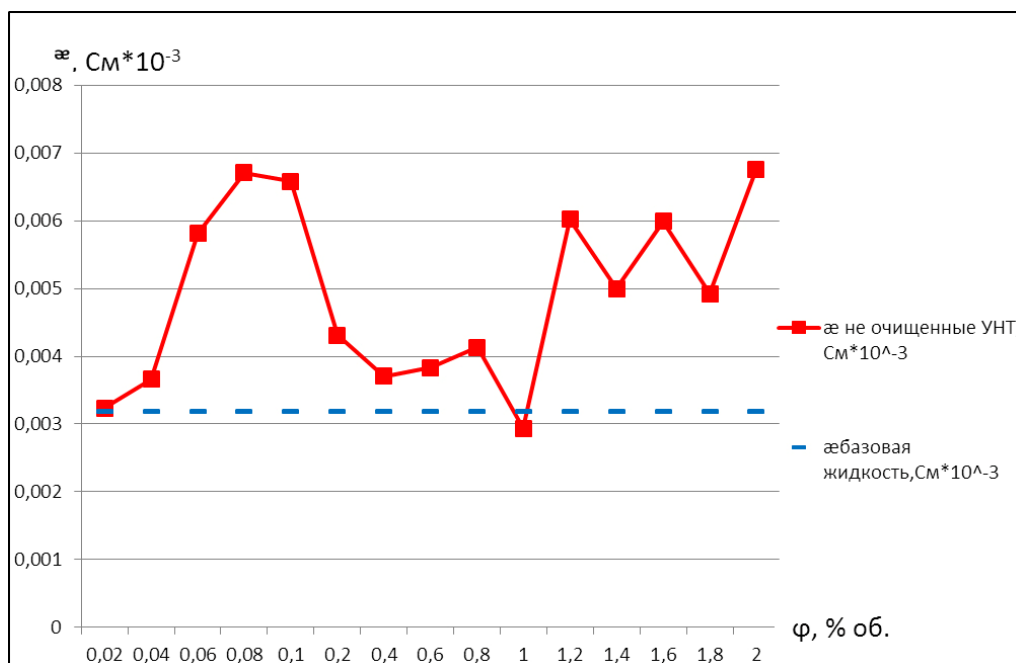


Рис. 5. Изменение электропроводности наножидкости на основе этилового спирта марки «Экстра» в зависимости от концентрации МУНТ

Так, в НЖ с увеличением концентрации МУНТ, нефункционализированных и с содержанием аморфного углерода, даже при добавлении малой концентрации МУНТ электрическая проводимость увеличилась на $4 \cdot 10^{-6}$ см.

В выполненной работе представлены результаты исследования по оценке влияния МУНТ на электрическую проводимость этилового спирта. В процессе исследования было установлено, что внесение МУНТ позволяет повысить значения электропроводности.

Способность наночастиц оказывать влияние на состояние электростатической безопасности веществ имеет огромное значение, так как открывает возможность безопасного хранения, транспортировки и применения легковоспламеняющихся жидкостей.

Литература

1. ГОСТ 17.1.018–79. Статическое электричество. Искробезопасность // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (дата обращения 18.05.2016).

2. ГОСТ 12.1.018–93 ССБТ. Пожаровзрывобезопасность статического электричества. Общие требования // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (дата обращения 18.05.2016).

3. Раков Э.Г. Нанотрубки и фуллерены: учеб. пособие. М.: Изд-во «Логос», 2006.

4. Дьячков П.Н. Электронные свойства и применение нанотрубок. М.: Бином-Лаборатория знаний, 2011. 488 с.

5. Корольченко А.Я., Корольченко Д.А. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения: справ.: в 2-х ч. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Асс. «Пожнаука», 2004. Ч. 1.

6. Пирогова Н.И., Истомина Т.Ю., Курек А.К. Физический практикум. Электричество и магнетизм: учеб. пособие. М.: РНИМУ, 2014.