

**К.х.н Карпинец А.П., Кирноз Н.А.**

*Донецкий национальный технический университет, Украина*

## **Специфика использования нанотехнологий и наноматериалов на автотранспорте и его инфраструктуре**

Цель данной работы – обобщение зарубежного опыта применения нанотехнологий при разработке топливных элементов электромобилей, наноприборов и наномашин, а также сенсоров для мониторинга токсикантов ДВС.

### *Изложение основного материала исследований*

#### **1. Топливные элементы**

Наряду с отмеченными ранее [1] реализованными и потенциальными возможностями применения углеродных нанотрубок (УНТ), охарактеризуем перспективы их использования при конструировании топливных элементов (ТЭ) как источников энергии в электромобилях.

Устройство и принцип работы наиболее перспективного водородно-кислородного ТЭ описаны нами в работе [2].

Для широкого использования батарей ТЭ на автомобильном транспорте необходимо решить две основные проблемы: а) произвести замену дорогостоящих материалов – катализаторов электродов на более дешевые; б) обеспечить безопасное хранение водорода.

Первая проблема частично решена учеными Южно – Российского технического университета (НПИ), которые внедрили в производство аноды ОРТА (аноды на основе оксидов рутения и титана) [3]. Поисковые исследования по замене материала катода продолжаются до сих пор.

Один из способов эффективного и надежного хранения  $H_2$  – заполнение им УНТ. По существующим оценкам [4] для использования в этом качестве трубка

должна поглощать  $H_2$  в концентрации 6,5 % масс. – пока же удалось внутри нее поместить только 4,2 % масс. этого газа. Для заполнения УНТ  $H_2$  применяется стандартная электрохимическая ячейка проведения электролиза водных растворов [3].

При изучении адсорбционных явлений, протекающих на границе раздела УНТ –  $H_2$ , установлено [5], что адсорбция газа при комнатной температуре и его давлении 100 *атм* достигает 4,2 % масс., что отвечает атомному соотношению  $H/C$  0,52, причем в течение первого часа поглощается до 70 %  $H_2$ .

Более значимые результаты получены при использовании жгутов одностенных нанотрубок [4]. Диаметр жгутов составляет 6 – 12 *нм*. Для разрыхления плотной структуры их в течение 10 *час* подвергали ультразвуковой обработке. Полученный таким методом материал обладал удельной поверхностью 285  $m^2/g$ . Максимальная степень заполнения достигалась при 80 *К* и давлении 0,5 *атм* и составила 8,5 % масс. Это рекордный результат для всех углеродных материалов, применяющихся в настоящее время для хранения  $H_2$ .

## 2. Сенсоры в мониторинге ОГ ДВС

Сенсор представляет собой физическое устройство для идентификации и количественного определения нейтральных и ионизированных частиц органических и неорганических соединений. Основная его составляющая – чувствительный слой, нанесенный на твердую подложку, который при контакте с определяемыми частицами субстрата подвергается изменению, т.е. сопровождается генерированием сигнала [6]. Компонентами активного слоя служат оксиды и сульфиды металлов, электропроводящие полимеры, а также наноструктуры.

### 2.1 Химические сенсоры

Известно [6], что оксиды металлов  $ZnO$ ,  $In_2O_3$ ,  $CuO$ ,  $MoO_3$ ,  $WO_3$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $ZrO_2$ ,  $TiO_2$ , помимо полупроводниковых свойств, проявляют высокую химическую активность в отношении состава газовой фазы:  $CO$ ,  $CO_2$ ,  $NO$ ,  $NO_2$ ,

$H_2S$ ,  $CH_3OH$ ,  $C_6H_6$ ,  $ROH$ . Аналитические возможности таких сенсоров увеличиваются при модификации оксидов легирующими добавками, в особенности наноразмерными частицами. Например, чувствительность поверхностной нанопленки из  $SnO_2$  в 460 раз превышает таковую из микроразмерных аналогов. Последнее весьма существенно при разработке конструкций новых типов двигателей с улучшенными экологическими показателями.

Чувствительность газового – оксидных сенсоров повышается при увеличении их рабочей температуры (300 – 500 °C); они эффективны при тестировании ОГ ДВС [7].

Установлено [4], что полевой транзистор, изготовленный на полупроводящей УНТ, является чувствительным детектором различных газов, в том числе  $NO_2$ . Протекание газа, содержащего всего 2 – 200 ppm ( $млн^{-1}$ )  $NO_2$ , приводит к трехкратному повышению проводимости нанотрубки.

Нанокристаллы металлоорганических соединений  $Pt$  проявляют высокую сенсорную активность на  $SO_2$  [3].

## 2.2 Электрохимические сенсоры

Высокие проводимость и удельная поверхность УНТ, легкость модификации боковых стенок и биосовместимость делают их идеальными материалами для конструирования электрохимических сенсоров (ЭХС). При этом в случае использования одностенных УНТ происходит увеличение электропроводности на три порядка при экспонировании чувствительного слоя  $NO_2$  и уменьшение ее в 100 раз в присутствии паров  $NH_3$  [6]. Существенно подчеркнуть, что если коммерческие сенсоры на металлоксидных полупроводниках для определения этих газов работают при  $\approx 600$  °C, то рабочая температура сенсора на основе УНТ – 20 °C.

Сенсоры с модифицированным окислителем УНТ чувствительны к присутствию даже следовых количеств метанола, воды, гексана толуола, хлороформа и других веществ. Применение производных фуллерена позволило создать новый тип ЭХС на катионы металлов [5]. Модификация УНТ

электропроводящими полимерами открывает возможность создания твердотельных рН – сенсоров. Коммерческие рН – метры на основе проточной мембраны не всегда удобны в работе, что заметно ограничивает возможности их применения, в частности в сфере автомобильного транспорта.

Характерно, что указанные выше химические и ЭХС требуют для анализа незначительных концентраций веществ, в том числе и токсикантов в ОГ ДВС.

### **3. Наномашины и наноприборы**

#### **3.1 Микроэлектромеханические системы (MEMSs)**

В основу MEMS – систем положены электрические отклики на механическую деформацию и наоборот. Обширная инфраструктура, созданная для производства кремниевых интегральных схем, сделала возможным разработку машин и устройств, которые в своей структуре имеют компоненты нанометровых размеров [4].

Основные преимущества MEMS – устройств – их миниатюрность, простота изготовления и размещения в больших количествах на одном чипе, а также возможность их интеграции в микроэлектронику. Простота и невысокая себестоимость при крупносерийном производстве, например, позволили создать датчики нанометровых размеров для активации воздушных подушек безопасности в автомобилях [4]. Ранее аналогичные электромеханическое устройство было размером с банку воды (~1 л), весило несколько фунтов и стоило около \$ 15 [5]. Современные датчики, основанные на MEMS – устройствах, имеют размеры монеты в 10 центов и стоят несколько долларов [4]. Их устройство и принцип работы описаны в работах [2,4].

#### **3.2 Наноэлектромеханические системы (NEMSs)**

Приходится констатировать тот факт, что наномеханические машины и устройства находятся на ранних стадиях разработки, а многие – все еще пребывают на стадиях выработки концепции. И хотя в настоящее время предложены многочисленные компьютерные модели возможных принципов и

самых наномашин [7], следует признать, что природа пока сильно опережает нас по своей способности создавать машины наноразмеров. Нанодвигатели (например, жгутиковый двигатель бактерий) давно существуют в биологических системах [4].

Недавно на основе многослойных УНТ создан наномотор [6]. Наибольший габарит этого устройства – 500 нм, длина ротора 100 – 300 нм, а нанотрубки, выполняющей роль оси, - 5 -10 нм.

Большие потенциальные возможности у искусственной одномолекулярной машины, которая преобразует энергию света в физическую работу [4]. Ее устройство и принцип работы детально описаны в публикациях [2,4].

Ученые Мюнхенского университета построили молекулярную машину, которая основана на фотоизомеризации азобензольного полимера [7]. Они прикрепили молекулу полимера в *транс* – форме к кантилеверу в атомном силовом микроскопе, а затем облучили его светом с  $\lambda = 365$  нм, заставив полимер сжаться и изогнуть балку. Облучение светом с длиной волны 420 нм возвращает полимер в состояние *транс* –изомера, позволяя балке вернуться в исходное состояние. При попеременном облучении полимера импульсами света 420 и 365 нм балка будет совершать колебания.

Возможно, описанный авторами работ [4,7] принцип превращения световой энергии в механическую позволит конструкторам создать приборы и устройства следующих поколений, которые найдут применение в автомобилестроении и на транспорте.

### **Выводы**

1. В результате анализа зарубежного опыта применения нанотехнологий на автомобильном транспорте и его инфраструктуре установлен различный уровень теоретических и прикладных исследований различных аспектов этой проблемы – от стадии выработки концепции до внедрения в производство.

2. Обсуждены тенденции развития, проблемы и перспективы использования наноструктурированных материалов при разработке топливных

элементов электромобилей, химических и электрохимических сенсоров для анализа токсикантов в ОГ ДВС.

3. Рассмотрены имеющие большие потенциальные возможности принципы конструирования наноустройств, нанодвигателей и наномашин.

### Литература

1. Карпинец А.П. Перспективы применения нанотехнологий на автомобильном транспорте. Часть 1. Наноструктуры и функциональные материалы. // Вісті Автомобільно - дорожнього інституту: Науково-виробничий збірник. – Горлівка: АДІ ДонНТУ, 2010. - №1 (10) – С 34-39.

2. Карпинец А.П. Перспективы применения нанотехнологий на автомобильном транспорте. Часть 2. Наноустройства и наномашин. // Вісті Автомобільно - дорожнього інституту: Науково-виробничий збірник. – Горлівка: АДІ ДонНТУ, 2010. - №1 (10) – С 40-46.

3. Томилов А.П., Смирнов В.А., Каган Е.Ш., Жукова И.Ю. Препаративная органическая химия - Новочеркасск, ЮРТУ, 2002. – 153 с.

4. Пул Ч. – мл., Оуэнс Ф. Нанотехнологии. – М.: Техносфера, 2009. – 336 с.

5. Солнцев Ю.П., Пряхин Е.И. Нанотехнологии и специальные материалы: Учебное пособие для вузов. – СПб.: ХИМИЗДАТ, 2007. – 176 с.

6. Электрохимия органических соединений в начале XXI века. / Под ред. В.П. Гультия, А.Г. Кривенко, А.П. Томилова. – М.: Компания Спутник, 2008. – 578 с.

7. Bolzani V., Venturi M., Credi A. Molecular Devices and Machines. A Journey into the Nanoworld. New York: Wiley VCH, 2003. – 494 p.