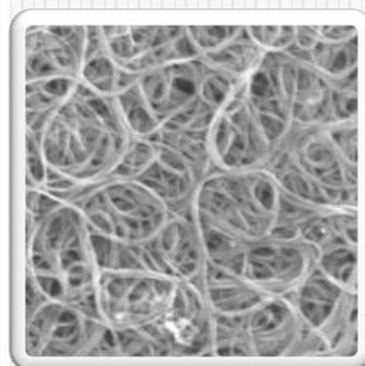
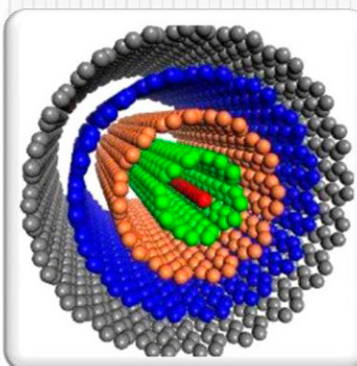
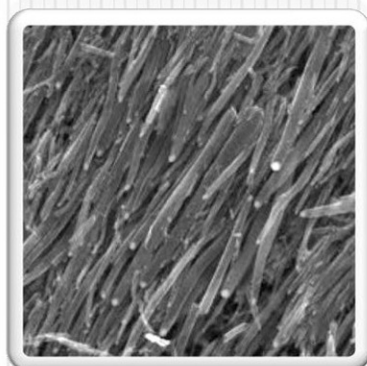
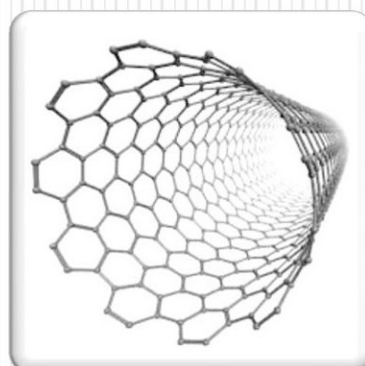
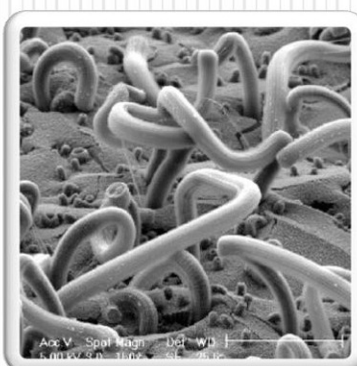
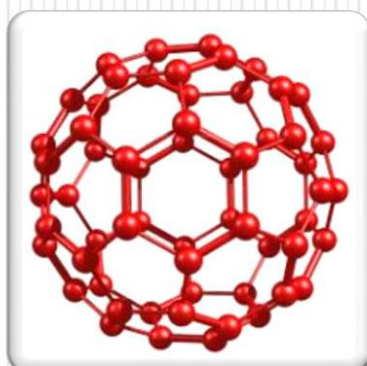


**БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ СЕМИНАР**

# **УГЛЕРОДНЫЕ НАНОМАТЕРИАЛЫ: ХАРАКТЕРИЗАЦИЯ И ПРИМЕНЕНИЕ**



**ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ**

**МИНСК - 2013**



Государственное научное учреждение  
«Институт тепло- и массообмена имени А.В. Лыкова  
Национальной академии наук Беларуси»

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт катализа имени Г.К. Борескова  
Сибирского отделения Российской академии наук

## **Белорусско-Российский семинар УГЛЕРОДНЫЕ НАНОМАТЕРИАЛЫ: ХАРАКТЕРИЗАЦИЯ И ПРИМЕНЕНИЕ**



Минск, 23-25 апреля 2013 г.

### **Секция 1.**

Характеризация, диагностика, сертификация, стандартизация  
углеродных наноматериалов.

### **Секция 2.**

Применение углеродных наноматериалов.

## ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ:

**ДОБРЕГО Кирилл Викторович**  
доктор физико-математических наук,  
заместитель директора по научной  
работе, ИТМО НАН Беларуси

**ЧИЖИК Сергей Антонович**  
доктор технических наук, профессор,  
член-корреспондент НАН Беларуси,  
Главный ученый секретарь НАН  
Беларуси,  
Зав. лабораторией нанопроцессов и  
технологий, ИТМО НАН Беларуси

**БОРОДУЛЯ Валентин Алексеевич**  
доктор технических наук, профессор,  
член-корреспондент НАН Беларуси,  
Зав. лабораторией дисперсных  
систем, ИТМО НАН Беларуси

**ПАРМОН Валентин Николаевич**  
доктор химических наук, профессор,  
академик РАН, директор, ИК СО РАН

**НОСКОВ Александр Степанович**  
доктор технических наук, профессор,  
заместитель директора по научной  
работе, ИК СО РАН

### *Секретариат*

**ВЕДЯГИН Алексей Анатольевич**  
кандидат химических наук, доцент,  
Ученый секретарь, ИК СО РАН

**НАУЧНАЯ  
ПРОГРАММА  
СЕМИНАРА**

| <b>Время</b>       | <b>22 апреля, понедельник</b>                          | <b>23 апреля, вторник</b>  |
|--------------------|--------------------------------------------------------|----------------------------|
| 9:00-9:15          | Прибытие российских участников, размещение в гостинице | Регистрация участников     |
| 9:15-9:30          |                                                        | Открытие семинара          |
| 9:30-9:55          |                                                        | УД-1-1                     |
| 9:55-10:20         |                                                        | УД-1-2                     |
| 10:20-10:45        |                                                        | УД-1-3                     |
| 10:45-11:10        |                                                        | УД-1-4                     |
| <b>11:10-11:30</b> |                                                        | <b>Перерыв на кофе</b>     |
| 11:30-11:50        |                                                        | УД-1-5                     |
| 11:50-12:10        |                                                        | УД-1-6                     |
| 12:10-12:30        |                                                        | УД-1-7                     |
| 12:30-12:50        |                                                        | УД-1-8                     |
| <b>12:50-14:10</b> |                                                        | <b>Обед</b>                |
| 14:10-14:30        |                                                        | УД-1-9                     |
| 14:30-14:50        |                                                        | УД-1-10                    |
| 14:50-15:10        |                                                        | УД-1-11                    |
| 15:10-15:30        |                                                        | УД-1-12                    |
| <b>15:30-15:50</b> |                                                        | <b>Перерыв на кофе</b>     |
| 15:50-16:10        |                                                        | УД-1-13                    |
| 16:10-16:30        |                                                        | УД-1-14                    |
| 16:30-16:50        |                                                        | УД-1-15                    |
| <b>17:00-18:00</b> |                                                        | <b>Экскурсия по городу</b> |
| <b>18:00-19:00</b> |                                                        |                            |
| <b>19:00-21:00</b> |                                                        | <b>Посещение театра</b>    |

| Время       | 24 апреля, среда                       | 25 апреля, четверг                                            |
|-------------|----------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| 9:00-9:15   | УД-2-1                                 | Тематические экскурсии по институту и профильным предприятиям |
| 9:15-9:30   |                                        |                                                               |
| 9:30-9:55   | УД-2-2                                 |                                                               |
| 9:55-10:20  | УД-2-3                                 |                                                               |
| 10:20-10:45 | УД-2-4                                 |                                                               |
| 10:45-11:10 | УД-2-5                                 |                                                               |
| 11:10-11:30 | Перерыв на кофе                        | Перерыв на кофе                                               |
| 11:30-11:50 | УД-2-6                                 | Круглые столы, осуждение возможных проектов                   |
| 11:50-12:10 | УД-2-7                                 |                                                               |
| 12:10-12:30 | УД-2-8                                 |                                                               |
| 12:30-12:50 | УД-2-9                                 |                                                               |
| 12:50-14:10 | Обед                                   | Обед                                                          |
| 14:10-14:30 | УД-2-10                                | Тематические мероприятия, Заккрытие семинара                  |
| 14:30-14:50 | УД-2-11                                |                                                               |
| 14:50-15:10 | УД-2-12                                |                                                               |
| 15:10-15:30 | УД-2-13                                |                                                               |
| 15:30-15:50 | Перерыв на кофе                        |                                                               |
| 15:50-16:10 | УД-2-14                                | Отбытие российских участников                                 |
| 16:10-16:30 | УД-2-15                                |                                                               |
| 16:30-16:50 | Посещение ИВЦ по нанотехнологиям и ЦКП |                                                               |
| 17:00-18:00 |                                        |                                                               |
| 18:00-19:00 |                                        |                                                               |
| 19:00-21:00 |                                        |                                                               |

**23 апреля, вторник**

**9:30**

**УД-1-1** *Левченко Л.М.* Нанопористые модифицированные углеродные материалы в сорбционных и каталитических процессах.

**Докладчик:** *Левченко Людмила Михайловна*, ИНХ СО РАН, г. Новосибирск

**9:55**

**УД-1-2** *Ведягин А.А., Мишаков И.В., Носков А.С., Пармон В.Н.* Синтез и характеристика углеродных волокнистых наноматериалов различного морфологического типа.

**Докладчик:** *Ведягин Алексей Анатольевич*, ИК СО РАН, г. Новосибирск

**10:20**

**УД-1-3** *Филатов С.А., Гункевич А.А.* О действующих на территории таможенного союза ТУ и ГОСТах на наноматериалы.

**Докладчик:** *Гункевич Анна Анатольевна*, ИТМО, г. Минск

**10:45**

**УД-1-4** *Кузнецов В.Л.* Синтез и характеристика углеродных нанотрубок.

**Докладчик:** *Кузнецов Владимир Львович*, ИК СО РАН, г. Новосибирск

**11:10 Кофе-брейк**

**11:30**

**УД-1-5** *Елецкий П.М., Яковлев В.А., Пармон В.Н.* Углеродные материалы из высокозольной биомассы: получение и характеристика.

**Докладчик:** *Елецкий Петр Михайлович*, ИК СО РАН, г. Новосибирск

**11:50**

**УД-1-6** *Лебедева М.В., Кузнецов А.Н., Елецкий П.М., Яковлев В.А., Пармон В.Н.* Исследование микро-мезопористых углеродных материалов в качестве электродов конденсаторов с двойным электрическим слоем.

**Докладчик:** *Лебедева Марина Валерьевна*, ИК СО РАН, г. Новосибирск

**12:10**

**УД-1-7** *Ахремкова Г.С., Филатов С.А., Гункевич А.В.* Измерение эффективной поверхности углеродных наноматериалов.

**Докладчик:** *Ахремкова Галина Семеновна*, ИТМО, г. Минск

**12:30**

**УД-1-8**     *Филатов С.А., Батырев Е.В., Кучинский Г.С., Гункевич А.В.*  
Метрологические основы характеристики наноматериалов.  
Стандартизация измерений.

*Докладчик: Филатов Сергей Александрович, ИТМО, г. Минск*

**12:50**

**Перерыв на обед**

**14:10**

**УД-1-9**     *Мосеенков С.И., Кузнецов В.Л., Ищенко А.В., Ларина Т.В., Романенко А.И., Ткачев Е.Н., Максименко С.А., Кужир П.П., Образцова Е.Д., Бокова С.Н., Суслев В.И.* Исследование взаимосвязей строения наноуглеродных материалов (углерода луковичной структуры и многослойных нанотрубок) с их электрофизическими свойствами.

*Докладчик: Мосеенков Сергей Иванович, ИК СО РАН, г. Новосибирск*

**14:30**

**УД-1-10**    *Батырев Е.В., Кучинский Г.С., Филатов С.А.* Спектральные оптические методы исследования наноматериалов.

*Докладчик: Батырев Евгений Викторович, ИТМО, г. Минск*

**14:50**

**УД-1-11**    *Данилова-Третьяк С.М., Евсеева Л.Е., Танаева С.А.* Теплофизические свойства углеродных наноматериалов и полимерных нанокомпозитов в широком диапазоне температур.

*Докладчик: Данилова-Третьяк Светлана Михайловна, ИТМО, г. Минск*

**15:10**

**УД-1-12**    *Доброго К.В., Козначеев И.А., Брич М.А.* Термогравиметрия в характеристике дисперсных углеродных наноматериалов.

*Докладчик: Доброго Кирилл Викторович, ИТМО, г. Минск*

**15:30**

**Кофе-брейк**

**15:50**

**УД-1-13**    *Карпович В.А.* Характеризация дисперсного углеродного наноматериала по поглощению СВЧ излучения.

*Докладчик: Карпович Виктор Аркадьевич, НИИЯП БГУ, г. Минск*

**16:10**

**УД-1-14**    *Худолей А.Л.* Характеризация структуры материала методом атомно-силовой микроскопии.

*Докладчик: Худолей Андрей Леонидович, ИТМО, г. Минск*

**16:30**

**УД-1-15** *Дрозд Е.С.* Углеродные наноструктуры как зонды и объекты исследования для атомно-силовой микроскопии.

**Докладчик:** *Дрозд Елизавета Сергеевна*, ИТМО, г. Минск

**24 апреля, среда**

**9:05**

**УД-2-1** *Мансурова И.А., Фомин С.В., Ваганов В.Е., Копалина О.Ю.* Модификация наполнителей эластомерных композиций углеродными нанокomпонентами.

**Докладчик:** *Мансурова Ирина Алексеевна*, ГОУ ВПО «ВятГУ», г. Киров

**9:30**

**УД-2-2** *Бауман Ю.И., Руднев А.В., Лысакова А.С., Ворошилов В.А., Мишаков И.В., Ведягин А.А., Шубин Ю.В., Селютин Г.Е., Буянов Р.А.* Синтез и применение разупорядоченных углеродных наноструктур.

**Докладчик:** *Бауман Юрий Иванович* ИК СО РАН, г. Новосибирск

**9:55**

**УД-2-3** *Ваганов В.Е., Решетняк В.В., Нефедова Е.В., Ломакин С.М.* Применение углеродных нанотрубок для создания полимерных композиционных материалов пониженной горючести.

**Докладчик:** *Решетняк Виктор Витальевич*, ВлГУ, г. Владимир

**10:20**

**УД-2-4** *Филатов С.А., Батырев Е.В., Кучинский Г.С., Александронец А.С.* Функционализация углеродных наноматериалов для промышленного применения.

**Докладчик:** *Филатов Сергей Александрович*, ИТМО, г. Минск

**10:45**

**УД-2-5** *Лабунов В.А.* Углеродные наноматериалы в электронике.

**Докладчик:** *Лабунов Владимир Архипович*, БГУИР, г. Минск

**11:10 Кофе-брейк**

**11:30**

**УД-2-6** *Каманина Н.В., Васильев П.Я., Студёнов В.И.* Углеродные наноструктуры в оптике.

**Докладчик:** *Каманина Наталия Владимировна*, ФГУП «НПК ГОИ им. С.И. Вавилова», г. Санкт-Петербург

**11:50**

**УД-2-7** *Бейлина Н.Ю.* Продукты переработки природного сланца. исследования и перспективы применения в производстве конструкционных и функциональных углеродных материалов.

**Докладчик:** *Бейлина Наталия Юрьевна*, ФГУП «НИИГрафит», г. Москва

**12:10**

**УД-2-8** *Ваганов В.Е., Петрунин С.Ю., Попов М.Ю., Решетняк В.В.* Композиционные строительные материалы на основе цементных вяжущих и углеродных нанотрубок, обладающих повышенными физико-механическими, эксплуатационными и новыми функциональными свойствами.

**Докладчик:** *Петрунин Сергей Юрьевич*, ВлГУ, г. Владимир

**12:30**

**УД-2-9** *Комаров А.И.* Создание модифицированных углеродными наноматериалами износостойких керамических покрытий на алюминии.

**Докладчик:** *Комаров Александр Иванович*, ОИМ НАН Беларуси, г. Минск

**12:50**      **Перерыв на обед**

**14:10**

**УД-2-10** *Колпацников В.Л., Мечай А.А., Мисник М.П.* Модифицирование структуры теплоизоляционного автоклавного ячеистого бетона углеродными наноматериалами.

**Докладчик:** *Мисник Мария Петровна*, БГТУ, г. Минск

**14:30**

**УД-2-11** *Гункевич А.А., Филатов С.А., Ахремкова Г.С., Дрозд Е.С.* Биобезопасность углеродных наноматериалов. Физико-химические механизмы. Нормативные документы.

**Докладчик:** *Дрозд Елизавета Сергеевна*, ИТМО, г. Минск

**14:50**

**УД-2-12** *Лихолобов В.А., Пьянова Л.Г., Седанова А.В.* Модифицированные углеродные сорбенты медицинского и ветеринарного назначения.

**Докладчик:** *Пьянова Лидия Георгиевна*, ИППУ СО РАН, г. Омск

**15:10**

**УД-2-13** *Кужир П.П., Максименко С.А., Шуба М.В.* Функциональные электромагнитные материалы на основе наноуглерода для мм- и субмм-диапазона частот

**Докладчик:** *Максименко Сергей Афанасьевич*, НИИЯП БГУ, г. Минск

**15:30**      **Кофе-брейк**

**15:50**

**УД-2-14** *Новиков В.П.* Перспективные системы для накопителей энергии на основе наноразмерных углеродных материалов.

**Докладчик:** *Новиков Владимир Прокофьевич*, НПЦ по материаловедению НАН Беларуси, г. Минск

**16:10**

**УД-2-15** *Ивахник А.В., Жорник В.И., Чижик С.А., Ивахник В.П., Бухтилова М.А.* Новые перспективы применения графита в производстве пластичных смазочных материалов.

**Докладчик:** *Ивахник Владимир Пантелеевич*, ИТМО, ОИМ НАН Беларуси, г. Минск

**16:30**

**УД-2-16** *Шпилевский Э.М.* Фуллеренсодержащие покрытия в парах трения.

**Докладчик:** *Шпилевский Эдуард Михайлович*, ИТМО, г. Минск

**25 апреля, четверг**

**9:00**

*Тематические экскурсии по институту и профильным предприятиям.*

**11:00 Кофе-брейк**

**11:30**

*Круглый стол по перспективным совместным проектам.*

**12:30 Перерыв на обед**

**14:00**

*Тематические мероприятия.*

# **ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ**

# **НАНОПОРИСТЫЕ МОДИФИЦИРОВАННЫЕ УГЛЕРОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ В СОРБЦИОННЫХ И КАТАЛИТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ**

Левченко Л.М.

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки*

*Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН*

Одним из приоритетных направлений, в области создания новых функциональных материалов с заданными свойствами, является получение нанопористых модифицированных материалов на основе углерод-углеродных и углерод-фторуглеродных матриц с сорбционными и каталитическими свойствами.

В настоящей работе рассматриваются способы получения селективных сорбентов и катализаторов с применением процессов окисления и химической иммобилизации. Современными физико-химическими методами (Фурье - ИК, КР-спектроскопией, ЭМВР с микроанализатором EDX, РФЭС, EXAFS-спектроскопией, термическим анализом, дифракционными, адсорбционными методами) проведена идентификация наноразмерных структур на углеродной поверхности материалов, установлен их состав, текстурные и структурные характеристики, а также влияние пористой структуры и природы поверхности сорбентов на их сорбционную способность и селективность по отношению к ряду катионов и анионов (благородных, токсичных и др. переходных металлов и их комплексов). Исследованы механизмы взаимодействия йода, хлора, брома, полимерной кристаллической и аморфной сурьмяной кислоты с окисленными углерод-углеродными и гидролизованнми углерод-фторуглеродными матрицами. Обнаружено образование полимерных пленок по типу координационного

взаимодействия ПФГ (гидроксильных, карбоксильных, карбонильных, лактонных, ацетилацетонатных) с ионами ртути, натрия, кальция.

В статических и динамических изучены процессы сорбции  $\text{Hg}^{2+}$ ,  $\text{Hg}^0$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Cs}^+$ ,  $\text{Sr}^{2+}$ ,  $\text{Au}^{3+}$ ,  $\text{Pt}^{4+}$ ,  $\text{Pt}^{2+}$ ,  $\text{Pd}^{2+}$  из растворов на окисленных углеродных и гидролизованных фторуглеродных сорбентах и каталитическая активность Ni-катализаторов.

На основании полученных изотерм сорбции, проведенных расчетов с применением уравнений адсорбции (Лэнгмюра, Фрейндлиха) и привлечением данных других методов предполагаемый механизм сорбции комплексов ряда металлов из растворов на нанопористых углеродных материалах включает в себя несколько стадий:

- создание путем окисления углеродной поверхности активных центров О-содержащих полифункциональных групп, в том числе обладающих хелатирующими свойствами;
- взаимодействие О-содержащих поверхностных функциональных групп с комплексами металлов в процессе сорбции из растворов.

Предложены наиболее простые и технологические способы получения модифицированных нанокompозитных сорбентов серии НУМС, ФС, ФУКМ и катализаторов серии УКН.

Сорбенты показали свою высокую экологическую эффективность при извлечении ртути из газовых и жидких сред, натрия и кальция из растворов хлорида лития, рубидия, цезия из модельных растворов, кадмия, никеля, свинца, меди, цинка из сточных вод и вод водоемов. На сорбент НУМС-1 для извлечения ртути из газовых и жидких сред созданы технические условия. В настоящее время сорбент используется на ОАО «НЗХК» и ООО «СибРтуть».

Катализатор УКН прошел цеховые испытания в реакции разложения гипохлорита лития.

## **СИНТЕЗ И ХАРАКТЕРИЗАЦИЯ УГЛЕРОДНЫХ ВОЛОКНИСТЫХ НАНОМАТЕРИАЛОВ РАЗЛИЧНОГО МОРФОЛОГИЧЕСКОГО ТИПА**

Ведягин А.А.<sup>1,2</sup>, Мишаков И.В.<sup>1,2</sup>, Носков А.С.<sup>1,2</sup>, Пармон В.Н.<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>*Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН*

<sup>2</sup>*Новосибирский государственный технический университет*

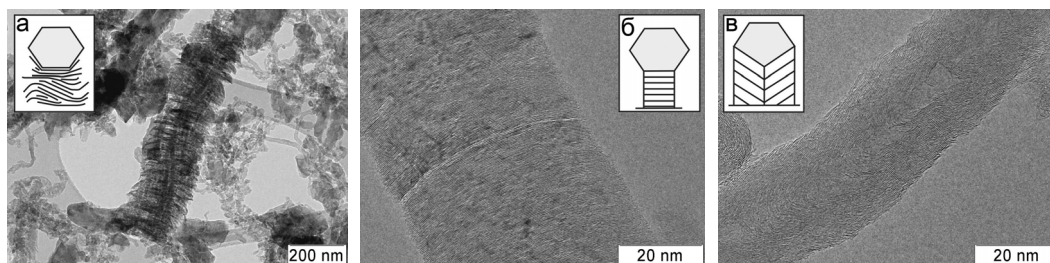
<sup>3</sup>*Новосибирский государственный университет*

Уникальные физические и химические свойства углеродных наноматериалов (УНМ) делают их особо привлекательными как с фундаментальной, так и с прикладной точки зрения. Они инертны, обладают развитой поверхностью и пористостью, характеризуются высокой химической и механической стабильностью, хорошей электропроводностью, благодаря чему находят широкое применение в адсорбции и катализе, для очистки воды и воздуха, хранения энергии, а также в качестве модификаторов для композиционных материалов.

Среди УНМ именно углеродные нанотрубки (УНТ) и нановолокна (УНВ) принято считать наиболее перспективными. В структуре УНТ графеновые плоскости ориентированы в концентрических слоях вдоль оси трубки, в результате чего поверхность представлена базальными гранями. В случае УНВ графеновые плоскости расположены в виде отдельных конусов вдоль оси волокна, а поверхность представлена исключительно призматическими гранями [1].

Наиболее распространенным способом синтеза УНВ является каталитическое разложение углеводородного сырья, протекающее по механизму карбидного цикла [2]. Структурный тип УНВ определяется взаимной ориентацией графеновых слоев в теле нити, которая, в свою очередь, зависит от состава катализатора, температуры процесса, а также природы углеродсодержащего предшественника.

Расширение ассортимента УНМ представляется одним из актуальных направлений современной химии углеродных материалов. Уникальное сочетание свойств УНВ позволяет рассматривать их в качестве перспективных модифицирующих добавок, улучшающих физико-механические характеристики композиционных материалов. Для использования в смазочных материалах нового поколения особый интерес представляют высоко дефектные «перистые» УНВ (рис. 1а). УНВ стопчатой и коаксиально-конической морфологии (рис. 1б и 1в) могут быть успешно использованы для наномодифицирования строительных материалов, включая бетоны, асфальтобетоны и битумы.



*Рис. 1. Микроснимки УНВ различной морфологии:*

*а) «перистые»; б) стопчатые; в) коаксиально-конические.*

В Институте катализа СО РАН создана опытная пилотная установка с роторным реактором, позволяющая поэтапно масштабировать процесс получения УНВ желаемой морфологии. Для синтезированных образцов изучены кинетические закономерности накопления углерода путем разложения различного углеводородного сырья в проточном реакторе с весами Мак-Бена. Методом электронной микроскопии высокого разрешения (HREM) исследована морфология полученных углеродных нанонитей. Методом растровой спектроскопии изучена макротекстура и пористая структура образцов. Сделаны предположения о влиянии температуры синтеза и размера активной частицы на расположение графеновых плоскостей в теле образующихся наноуглеродных нитей.

#### ***Литература***

- [1]. C. Pham-Huu, et. al. *Journal of Catalysis*, 240 (2006) 194.
- [2]. Р.А. Буянов, В.В. Чесноков. *Катализ в промышленности*, 2 (2006) 3.

## **О ДЕЙСТВУЮЩИХ НА ТЕРРИТОРИИ ТАМОЖЕННОГО СОЮЗА ТУ И ГОСТ НА НАНОМАТЕРИАЛЫ**

Филатов С.А., Гункевич А.В.

*Институт тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова НАН Беларуси,  
г. Минск, ул. П. Бровки, 15*

Специфика измерений характеристик наноматериалов привела к необходимости обеспечения единства измерений состава, структуры, размера и свойств наноматериалов и возможности обеспечения прослеживаемости этих свойств к эталону соответствующей величины [1-6]. Междисциплинарный характер нанотехнологий потребовал создания в 2005 году в рамках Международной организации по стандартизации (ИСО) Технического комитета ИСО/TK229 «Нанотехнологии» и создания технического комитета МЭК/TK113 «Стандартизация в области нанотехнологий для электрических и электронных изделий и систем».

Создание ТУ и ГОСТ на наноматериалы потребовало метрологического обеспечения единства измерений длины в диапазоне 1–1000 нм и создания мер с наноразмерными параметрами для калибровки электронных и атомно-силовых микроскопов, а также введения соответствующих ГОСТ Р 8.628-2007 «Государственная система обеспечения единства измерений. Меры рельефные нанометрового диапазона из монокристаллического кремния. Требования к геометрическим формам, линейным размерам и выбору материала для изготовления», ГОСТ Р 8.629-2007 «Государственная система обеспечения единства измерений. Меры рельефные нанометрового диапазона с трапецеидальным профилем элементов. Методика поверки», ГОСТ Р 8.630-2007 «Государственная система обеспечения единства измерений. Микроскопы сканирующие зондовые атомно-силовые измерительные. Методика поверки», ГОСТ Р 8.631-

2007 «Государственная система обеспечения единства измерений. Микроскопы электронные растровые измерительные. Методика поверки», ГОСТ Р 8.635-2007 «Государственная система обеспечения единства измерений. Микроскопы сканирующие зондовые атомно-силовые. Методика калибровки», ГОСТ Р 8.636-2007 «Государственная система обеспечения единства измерений. Микроскопы электронные растровые. Методика калибровки», ГОСТ Р 8.644-2008 «Государственная система обеспечения единства измерений. Меры рельефные нанометрового диапазона с трапецеидальным профилем элементов. Методика калибровки», ГОСТ Р 8.696-2010 «Государственная система обеспечения единства измерений. Межплоскостные расстояния в кристаллах и распределение интенсивностей в дифракционных картинах. Методика выполнения измерений с помощью электронного дифрактометра», ГОСТ Р 8.697-2010 «Государственная система обеспечения единства измерений. Межплоскостные расстояния в кристаллах. Методика выполнения измерений с помощью просвечивающего электронного микроскопа», ГОСТ Р 8.698-2010 «Государственная система обеспечения единства измерений. Размерные параметры наночастиц и тонких пленок. Методика выполнения измерений с помощью малоуглового рентгеновского дифрактометра», ГОСТ Р 8.700-2010 «Государственная система обеспечения единства измерений. Методика измерений эффективной высоты шероховатости поверхности с помощью сканирующего зондового атомно-силового микроскопа».

В последнее время разработаны и введены в действие Межгосударственные стандарты (СНГ): ГОСТ 8.591-2009 «Государственная система обеспечения единства измерений. Меры рельефные нанометрового диапазона с трапецеидальным профилем элементов. Методика поверки», ГОСТ 8.592-2009 «Государственная система обеспечения единства измерений. Меры рельефные нанометрового диапазона из монокристаллического кремния.

Требования к геометрическим формам, линейным размерам и выбору материала для изготовления», ГОСТ 8.593-2009 «Государственная система обеспечения единства измерений. Микроскопы сканирующие зондовые атомно-силовые. Методика поверки», ГОСТ 8.594-2009 «Государственная система обеспечения единства измерений. Микроскопы электронные растровые. Методика поверки».

Предполагается введение в действие в качестве стандартов РФ международных стандартов ИСО/TS 80004-3(2010), ИСО/TS 27687(2008), ИСО/TR 12802(2010), ИСО/TR 11360(2010), МЭК/PAS 62565-2-1(2011) и МЭК 62624(2009) а также более 20 стандартов разработанных в РФ.

В Республике Беларусь разработаны и введены в действие стандарты СТБ СТБ 2209-2011 «Материалы наноразмерные углеродные и неуглеродные и композиты на их основе. Метод определения элементного состава с применением электронных растровых измерительных микроскопов» (постановление Госстандарта РБ от 28.06.2011 № 40) и СТБ 2210-2011 «Материалы наноразмерные углеродные и неуглеродные и композиты на их основе. Метод определения параметров с применением электронных растровых измерительных микроскопов» (постановление Госстандарта РБ от 28.06.2011 № 40, устанавливает метод определения линейных размеров наноразмерных структур).

#### ***Литература:***

- [1]. Крутиков В.Н. Метрологическое обеспечение, стандартизация и оценка соответствия нано-технологий и наноиндустрии. Ч.2.
- [2]. Крутиков В.Н., Золотаревский Ю.М., Андрюшечкин С.Е. // Метрология. - 2008. - №3. - С.3-14. Состояние и тенденции развития европейской нанотехнологии. Материалы «NANOFORUM 8» М. : ВНИИОФИ. - 2008. - С. 248.
- [3]. Тодуа П.А. Метрология и стандартизация в нанотехнологиях и наноиндустрии. // Измерительная техника. - 2008. - № 5. - С. 5-10.
- [4]. Лахов В.М. Метрологическое обеспечение, стандартизация и оценка соответствия нанотехнологий / В.М. Лахов // Компетентность. - 2008. - №2. - С. 31-35.
- [5]. Окрепилов В.В. Стандартизация и метрология в нанотехнологиях. - СПб.: Наука. - 2008. - С. 260.
- [6]. Сергеев А.Г. Введение в нанометрологию. Владимир: Изд-во ВлГУ. - 2010. - С. 296.

## **СИНТЕЗ И ХАРАКТЕРИЗАЦИЯ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК**

Кузнецов В.Л.

*Институт катализа СО РАН, г. Новосибирск*

Углеродные нанотрубки (УНТ) широко используются для создания новых композитных материалов на основе полимеров, металлов и керамик, а также для разработки компонентов новых электронных устройств. Наиболее распространенные методы получения этих материалов базируются на химическом осаждении углерода на поверхности металлических катализаторов при температурах от 500 до 2000°C. Несмотря на многообразие условий получения различных типов УНТ механизмы их формирования имеют общие закономерности. В зависимости от агрегатного состояния каталитических частиц выделяют два типа механизмов роста: «газ-жидкость-твердое» (VLS) и «газ-твердое-твердое» (VSS). Данные механизмы характеризуются наличием общих стадий: 1) активацией углеродсодержащих молекул на поверхности частиц катализатора (для низкотемпературных процессов), 2) растворением в объеме или приповерхностном слое металлической частицы атомов углерода, 3) образованием поверхности раздела (интерфейса) между металлической частицей и трубкой 4) диффузией растворенных атомов углерода к поверхности интерфейса и 5) встраиванием этих атомов в растущую трубку.

В ИК СО РАН развивается методология разработки высокоселективных катализаторов синтеза УНТ, которая базируется на предположении об определяющей роли зародышеобразования фрагментов растущих образований на поверхности металлических частиц на тип углеродных отложений. В частности, термодинамический анализ условий зародышеобразования растущей трубки или кристалла в

сочетании с анализом фазовых диаграмм многокомпонентных металлических систем позволяет сформулировать необходимые условия для селективного получения тех или иных типов нанотрубок углерода. С этих общих позиций рассматриваются влияние на рост УНТ промоторов, размеров металлических частиц, условий проведения процесса, способа активации катализатора. Это привело к разработке нового способа приготовления нанесенных металлических катализаторов, позволяющего получать высокодисперсные оксидные носители с гомогенным распределением в них ионов металлов подгруппы железа. Их восстановление в контролируемых условиях позволяет получать частицы металла узким распределением по размерам, обуславливающие рост нанотрубок заданного диаметра. Разработаны катализаторы, позволяющих синтезировать многослойные УНТ с варьируемым распределением трубок по диаметру и чистотой выше 95 %.

Для характеристики УНТ использовали широкий набор физических и химических методов. В частности, для получения сведений о структуре и морфологии трубок применяли просвечивающую и растровую электронные микроскопии в сочетании с методами энергодисперсионного анализа, рентгеновскую дифракцию (РФА), спектроскопию комбинационного рассеяния (КР), адсорбционные методы анализа удельной поверхности и пористой структуры. Для анализа поверхности УНТ использовали рентгеновскую фотоэлектронную спектроскопию, инфракрасную спектроскопию и методы химического анализа. Электронные и транспортные свойства трубок исследовали методами измерения температурных зависимостей электропроводности и магнеторезистивности. При исследованиях свойств композиционных материалов, содержащих УНТ, обычно используют подходы, типичные для изучения базовых компонентов и ориентированных на специфику областей применения.

## **УГЛЕРОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ИЗ ВЫСОКОЗОЛЬНОЙ БИОМАССЫ: ПОЛУЧЕНИЕ И ХАРАКТЕРИЗАЦИЯ**

Елецкий П.М., Яковлев В.А., Пармон В.Н.

*Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН, г. Новосибирск*

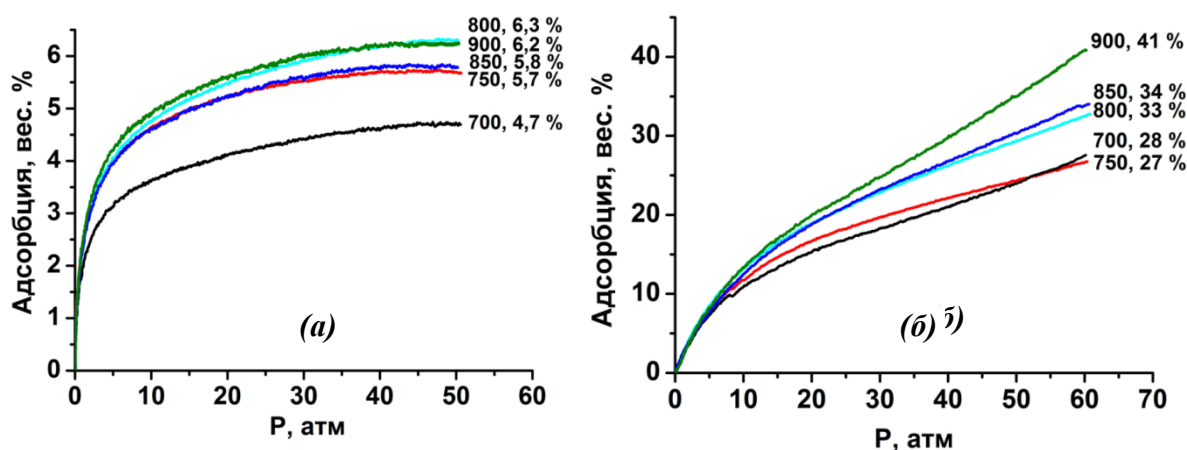
Растительная биомасса с повышенным содержанием зольной компоненты представляет интерес как предшественник пористых углеродных материалов благодаря тому, что минеральная часть может выступать в качестве природного темплата для образующихся углеродных материалов. Наиболее распространенной и доступной биомассой такого типа является рисовая шелуха (РШ), которая может содержать в своем составе 13 – 29 вес. % зольной компоненты, более 95 % которой составляет аморфный диоксид кремния [1].

В данной работе РШ использовали для получения углеродных материалов с преимущественно микро-, либо мезопористой текстурой. Предварительно РШ карбонизировали в кипящем слое катализатора при 450–600°C с получением углерод-кремнеземных наноккомпозитов (C/SiO<sub>2</sub>).

Мезопористые углеродные материалы были получены путем термообработки C/SiO<sub>2</sub> с карбонатами натрия и калия при 750–1000°C для удаления фазы в виде водорастворимых силикатов. Удельная поверхность по БЭТ ( $A_{\text{БЭТ}}$ ) образцов составила 650 – 1700 м<sup>2</sup>/г, объем пор ( $V_{\Sigma}$ ) – до 1,5 см<sup>3</sup>/г, доля мезопор – более 80 % по объему. Данные материалы могут найти применение в качестве носителей катализаторов, адсорбентов и материалов для суперконденсаторов.

Применение щелочей для активации C/SiO<sub>2</sub> при 700–900°C позволило получить углеродные материалы с преимущественно микропористой текстурой, удельной поверхностью по БЭТ более 3000 м<sup>2</sup>/г,  $V_{\Sigma}$  до 3,0 см<sup>3</sup>/г и  $V_{\mu}$  до 1,9 см<sup>3</sup>/г. Их исследование с применением

метода нелокальной теории функционала плотности (НТФП) [2] показало, что они обладают удельной поверхностью, близкой к предельно возможной для углеродных материалов (около  $2630 \text{ м}^2/\text{г}$  [3]). Тестирование показало перспективность их применения в качестве активных материалов суперконденсаторов, а так же адсорбентов водорода и метана: емкость по водороду достигла 6,3 вес. % при 77 К и 50 атм.; емкость по  $\text{CH}_4$  – 41 вес. % при 273 К и 60 атм. (рис. 1).



*Рис. 1. Изотермы адсорбции водорода (77 К) (а) и метана (273 К) (б) на микропористых углеродных материалах из РШ.*

### **Литература**

- [1]. Ю.В. Ларичев, П.М. Елецкий, Ф.В. Тузиков, В.А. Яковлев, Разработка технологии получения пористых углерод-кремнеземных композитов и углеродных материалов из рисовой шелухи, исследование их текстурных и дисперсных характеристик, Катализ в промышленности, 2 (2013) 72 (в печати).
- [2]. Е.А. Устинов, В.Б. Фенелонов, В.А. Яковлев, П.М. Елецкий, Характеризация пористой структуры углеродных материалов с применением теории функционала плотности, Кинетика и катализ, 48 (2007) 629.
- [3]. П.М. Елецкий, Синтез и исследование углерод-кремнеземных нанокompозитов, мезо- и микропористых углеродных материалов из высокозольной биомассы // Дисс. на соискание уч. ст. канд. хим. наук (2009).

# **ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРО - МЕЗОПОРИСТЫХ УГЛЕРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ В КАЧЕСТВЕ ЭЛЕКТРОДОВ ДЛЯ КОНДЕНСАТОРОВ С ДВОЙНЫМ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ СЛОЕМ**

Лебедева М.В., Кузнецов А.Н., Елецкий П.М.,  
Яковлев В.А., Пармон В.Н.

*Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН, г. Новосибирск*

Конденсаторы с двойным электрическим слоем представляют собой электрохимические устройства хранения энергии, которые могут быть использованы как отдельно, так и в дополнение к другим источникам тока, таким как аккумуляторы или топливные элементы. Принцип работы подобных устройств заключается в разделении заряда на границе раздела фаз поверхности электрода и электролита.

Углеродные материалы, получаемые из природного возобновляемого сырья, являются перспективными материалами для создания электродов для конденсаторов с двойным электрическим слоем. Их высокая развитая поверхность позволяет накапливать большое количество энергии [1], а доступность сырья делает их привлекательными с экономической точки зрения.

Микро-мезопористые углеродные материалы, использованные в данной работе, были получены из рисовой шелухи [2, 3] и имеют площадь поверхности от 890 до 3000 м<sup>2</sup>/г. Исследование емкостных характеристик проводилось электрохимическими методами (циклическая вольтамперометрия и хронопотенциометрия) в водных электролитах.

Было показано, что зависимость удельной емкости от площади поверхности определенной по методу БЭТ для исследованных углей имеет линейную форму (Рис. 1 А).

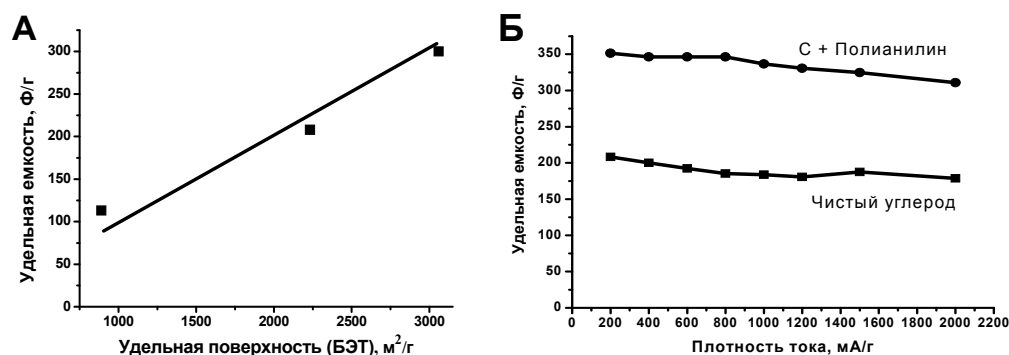


Рисунок 1. (А) Соотношение между удельной емкостью и удельной поверхностью. (Б) зависимость удельной емкости от плотности тока разряда для чистого и модифицированного полианилином углерода с

$$S_{\text{БЭТ}} = 2230 \text{ м}^2/\text{г}. \text{ (электролит: } 1 \text{ М } \text{H}_2\text{SO}_4\text{)}.$$

Для улучшения емкостных характеристик поверхность была модифицирована проводящим полимером, полианилином. На рисунке 1Б представлена зависимость удельной емкости от плотности тока разряда для чистого и модифицированного полианилином углерода с площадью поверхности по БЭТ  $2230 \text{ м}^2/\text{г}$ . Модификация поверхности приводит к значительному увеличению удельной емкости.

#### Литература

- [1] A.G. Pandolfo, A.F. Hollenkamp, J. Power Sources, 157 (2006) 11.
- [2] P. M. Eletskii, V. A. Yakovlev et al., Kinetics and Catalysis. 49 (2008) 708.
- [3] P. M. Eletskii, V. A. Yakovlev et al., Microporous and Mesoporous Mat. 121 (2009) 34.

## **ИЗМЕРЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОЙ ПОВЕРХНОСТИ УГЛЕРОДНЫХ НАНОМАТЕРИАЛОВ**

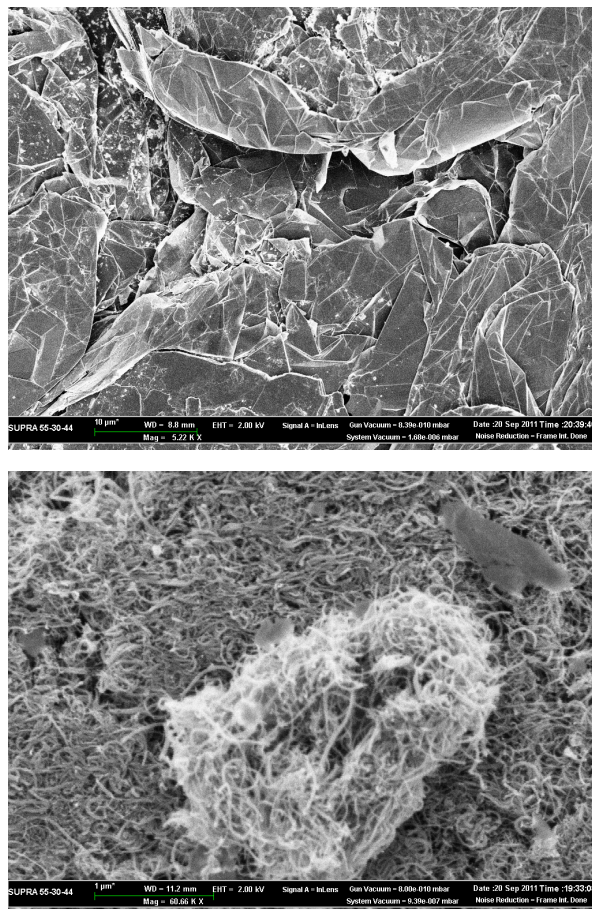
**Ахремкова Г.С., Филатов С.А., Гункевич А.В.**

*Институт тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова НАН Беларуси,  
Минск, ул. П. Бровки, 15*

Современные технологические процессы, основанные на использовании наноразмерных углеродных материалов, определяют необходимость исследования площади поверхности и пористой структуры материалов с применением методов физической сорбции. Адсорбция газов на внешней и внутренней поверхности наноматериалов является важным инструментом для определения их сорбционных характеристик, связанных с эксплуатационными свойствами. В настоящее время хорошо изучены адсорбционные свойства как природных графитов и технических марок углерода – углеродных адсорбентов с однородной неспецифической поверхностью, обладающих высокой чувствительностью к пространственному строению молекул адсорбатов, так и свойства коммерчески доступных углеродных наноматериалов (рис. 1).

Экспериментальные данные о селективных свойствах наноструктурированных углеродных адсорбентов получены с помощью анализатора пористости и удельной поверхности ASAP2020 компании «Micromeritics» (США) по оригинальным методикам, реализующим метод Дубинина-Радушкевича [1–4], прошедшим метрологическую экспертизу. Основной целью проводимых исследований являлось определение удельной поверхности материалов, сорбционной способности при использовании в качестве абсорбата азота и водорода, определение размеров нано-, микро- и мезопор с целью определения оптимального способа функционализации поверхности углеродных

сорбентов. Практическая значимость результатов работы определяется возможностью создания новых высокоэффективных сорбентов и возможностью моделирования тепломассообменных процессов в таких сорбентах. Полученные результаты могут быть использованы для развития молекулярно-статистической теории адсорбции из газовой фазы наноструктурированных углеродных адсорбентов и при создании гетерогенных катализаторов.



*Рис. 1. Структура перспективных наноструктурированных углеродных сорбентов (слева – терморасширенный графит, справа – функционализированные углеродные нанотрубки)*

### **Литература**

- [1]. Грегг С., Синг К., Адсорбция, удельная поверхность, пористость. М.: Мир, 1984.
- [2]. Dollimore D., Heal G. R. An improved method for the calculation of pore size distribution from adsorption data // J. Appl. Chem. 1964. Vol. 14, No 1. Pp. 109–114.
- [3]. Дубинин, М. М. Сравнение различных методов оценки размеров микропор углеродных адсорбентов // Изв. АН СССР. Сер. хим. 1987. № 10. С. 2389-2390.
- [4]. Дубинин М.М., Адсорбция и пористость, М., 1972; Сб. “Современные проблемы теории адсорбции”, М., 1995.

## **МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ХАРАКТЕРИЗАЦИИ НАНОМАТЕРИАЛОВ. СТАНДАРТИЗАЦИЯ ИЗМЕРЕНИЙ**

Филатов С.А., Батырев Е.В., Кучинский Г.С., Гункевич А.В.

*Институт тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова НАН Беларуси,*

*Минск, ул. П. Бровки, 15*

Относительно низкий уровень инфраструктуры отечественной наноиндустрии, в частности, метрологической базы, сдерживает развитие работ на базе накопленного потенциала.

Развитие наноиндустрии требует метрологического обеспечения продукции и технологий наноиндустрии на основе создания эталонных средств и методик выполнения измерения, поверки, калибровки и испытания используемых в наноиндустрии средств измерений, их гармонизации с требованиями международных стандартов в области нанотехнологий, обеспечения безопасности создания и применения объектов наноиндустрии на основе оценки и подтверждения соответствия продукции и технологий.

В рамках программы СГ «Нанотехнология-СГ» разработаны и введены Государственные стандарты Республики Беларусь по определению параметров и элементного состава наноразмерных углеродных и неуглеродных материалов и композитов на их основе с применением электронных растровых измерительных микроскопов с системой микроанализа, разработаны и введены в действие метрологически аттестованные методики определения линейных размеров, элементного состава, тепловых, оптически, спектральных, прочностных характеристик углеродных и неуглеродных наноматериалов и композитов на их основе; проведены лабораторные исследования и выполнена валидация разработанных МВИ. Впервые в

практике разработаны и изготовлены технические прототипы настроечных образцов для определения фазового состава углеродных наноматериалов и технические прототипы настроечных образцов для определения элементного состава наноматериалов. Проведенные лабораторные испытания всех методик (МВИ), подтвердили их высокую эффективность при определении теплофизических и оптических характеристик наноразмерных материалов и композитов на их основе, исследовании свойств поверхности и линейных размеров наноразмерных материалов, исследовании элементного и фазового состава углеродных и неуглеродных материалов и композитов на их основе. Валидация МВИ (демонстрация пригодности методики для решения предполагаемых задач), выполненная в ходе многочисленных экспериментов позволила получить доказательства точности, правильности, воспроизводимости (прецизионности), избирательности, линейности и устойчивости (робастности) разработанных методик выполнения измерений и подтвердить правильность предложенных в методиках статистических методов обработки результатов испытаний, правильность определения доверительных интервалов методик. На основе выполненных лабораторных испытаний методик выполнения измерений и представленных валидационных отчетов, получены акты метрологической экспертизы БелГИМ на разработанные МВИ.

# **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОСВЯЗЕЙ СТРОЕНИЯ НАНОУГЛЕРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ (УГЛЕРОДА ЛУКОВИЧНОЙ СТРУКТУРЫ И МНОГОСЛОЙНЫХ НАНОТРУБОК) С ИХ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ**

Мосеенков С.И.<sup>1</sup>, Кузнецов В.Л.<sup>1</sup>, Ищенко А.В.<sup>1</sup>, Ларина Т.В.<sup>1</sup>,  
Романенко А.И.<sup>2</sup>, Ткачев Е.Н.<sup>2</sup>, Максименко С.А.<sup>3</sup>, Кужир П.П.<sup>3</sup>,  
Образцова Е.Д.<sup>4</sup>, Бокова С.Н.<sup>4</sup>, Суслиев В.И.<sup>5</sup>

<sup>1</sup>*Институт катализа СО РАН, г. Новосибирск, Россия*

<sup>2</sup>*Институт неорганической химии СО РАН, г. Новосибирск, Россия*

<sup>3</sup>*Институт ядерных проблем БГУ, г. Минск, Беларусь*

<sup>4</sup>*Институт общей физики РАН, г. Москва, Россия*

<sup>5</sup>*Томский государственный университет, г. Томск, Россия*

Углеродные наноматериалы являются одним из ключевых компонентов развивающихся нанотехнологий. В данной работе проведено сравнительное исследование электрофизических свойств углеродных наноматериалов различного строения, а именно углерода луковичной структуры (УЛС),  $sp^2/sp^3$  композитов и углеродных нанотрубок. Углерод луковичной структуры представляет собой вложенные друг в друга фуллереноподобные сферы, объединенные в агрегаты несколькими дефектными внешними оболочками.  $sp^2/sp^3$  композиты имеют сходное с УЛС строение, однако, за счет частичной графитизации, ядра первичных частиц содержат алмазоподобный  $sp^3$  углерод. Многослойные углеродные нанотрубки (МУНТ) представляют собой коаксиально расположенные цилиндры, образованные из скрученных графеноподобных слоев. Не смотря на то, что все они относятся к семейству  $sp^2$  материалов, в силу вариации строения они

обладают различными электрофизическими свойствами. В ИК СО РАН разработаны способы получения и модификации МУНТ и УЛС, которые позволяют получать наноуглеродные материалы с контролируемой структурой. Для МУНТ такими параметрами являются отношение длины к диаметру, размер  $sp^2$  фрагментов, образующих слой трубки, структура агрегатов, для УЛС – размер первичных частиц, размер агрегатов, дефектность общих графеновых оболочек.

С использованием наноуглеродных материалов в качестве модельных систем было проведено исследование их электрофизических свойств в зависимости от структуры. Были исследованы температурная зависимость электропроводности и магнетосопротивления [1, 2]. Обнаружено, что в зависимости от структуры материалов изменяется тип проводимости. Также проведено исследование электромагнитного отклика в области гигагерцовых частот [3], ИК-диапазоне [4] и в видимом и УФ диапазонах [4], что позволило выявить влияние структуры и параметров углеродных наноматериалов на их поглощающие и отражающие свойства в этих диапазонах.

### ***Литература***

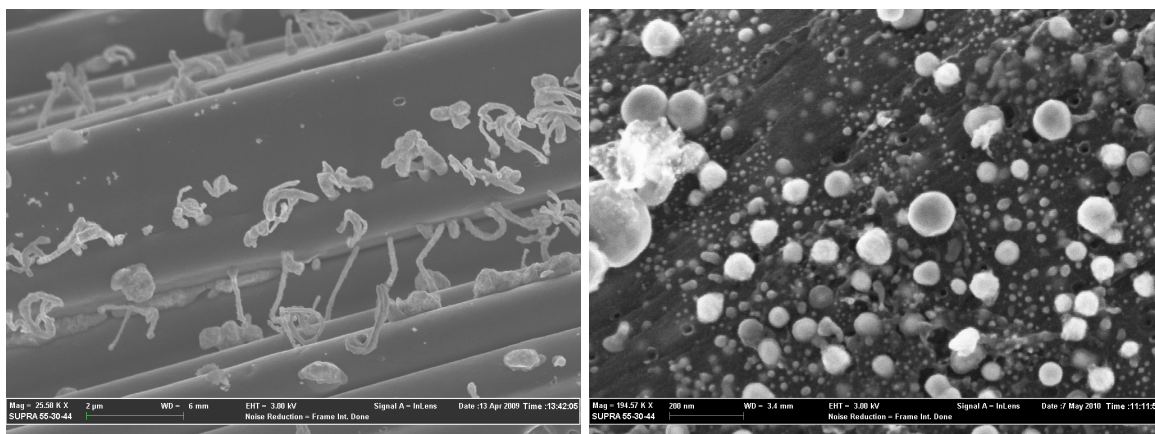
- [1]. V.L. Kuznetsov, S.I. Moseenkov, A.V. Ischenko, A.I. Romanenko, T.I. Buryakov, O.B. Anikeeva, S.A. Maksimenko, P.P. Kuzhir, D.S. Bychanok, A.V. Gusinski, O.V. Ruhavets, O. Shenderova, P. Lambin, Phys. Status Solidi B, 245 (2008) 2051.
- [2]. A.I. Romanenko, O.B. Anikeeva, T.I. Buryakov, E.N. Tkachev, K.R. Zhdanov, V.L. Kuznetsov I.N. Mazov, A.N. Usoltseva, A.V. Ischenko, Diamond & Related Materials, 19 (2010) 964.
- [3]. P.P. Kuzhir, A.G. Paddubskaya, S.A. Maksimenko, V.L. Kuznetsov, S.I. Moseenkov, A.I. Romanenko, O.A. Shenderova, J. Macutkevici, G. Valusis, and Ph. Lambin, IEEE TRANSACTIONS ON ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY, 54 (2012) 6.
- [4]. V.L. Kuznetsov, S.I. Moseenkov, K.V. Elumeeva, T.V. Larina, V.F. Anufrienko, A.I. Romanenko, O.B. Anikeeva and E.N. Tkachev, Phys. Status Solidi B, 248 (2011) 2572.

## **СПЕКТРАЛЬНЫЕ ОПТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ НАНОМАТЕРИАЛОВ**

**Батырев Е.В., Кучинский Г.С., Филатов С.А.**

*Институт тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова НАН Беларуси,  
Минск, ул. П. Бровки, 15*

Промышленное получение углеродных наноматериалов во многом определяет развитие методов характеристики по спектральным оптическим характеристикам. Метод комбинационного рассеяния света (Рамановская спектроскопия) в течение многих лет остается одним из наиболее распространенных методов анализа углеродных наноматериалов (УНМ), в том числе с декорированной поверхностью (рис. 1).



*Рис. 1. Фрагмент поверхности углеродного волокна с нанесенным катализатором (Ni) и углеродного волокна декорированного УНТ.*

Спектры комбинационного рассеяния света УНМ (рис. 2) связаны с их структурой и содержат линии, соответствующие их собственным колебаниям, в связи с чем колебания УНТ можно разделить на две группы: внутривиброскопные, или тангенциальные, колебания и радиальные колебания.

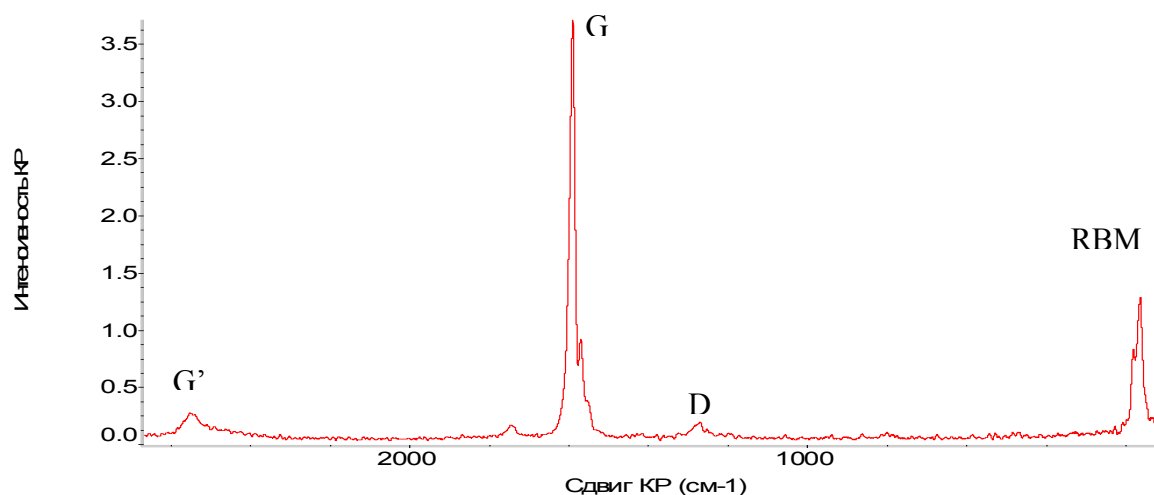


Рис. 2. Спектр комбинационного рассеяния углеродных наноматериалов

Тангенциальные колебания (D-, G-, D'- и G'- моды) представляют собой колебания графитовой плоскости и имеют частоты, близкие к частотам соответствующих колебаний графита, тогда как радиальные не имеют аналогов и являются отличительной особенностью нанотрубок. Наиболее интенсивная G-мода соответствует колебаниям идеальной графитовой решетки и имеет частоту  $1590 \text{ см}^{-1}$ . В случае УНТ возникает выделенное направление и, анизотропия свойств графитовой решетки, в результате чего G-мода разделяется на три близких по частоте колебания. Различие частот этих колебаний обратно пропорционально диаметру УНТ и при диаметре порядка 3 нм не превышает  $10 \text{ см}^{-1}$ . D-моду связывают с наличием дефектов в графитовых плоскостях, что объясняет изменение ее интенсивности по отношению к G-моду в различных образцах. Так называемая, радиальная дыхательная мода (radial breathing mode) не имеет аналогов в спектрах графита и соответствует не колебаниям графитовой решетки, а всей УНТ как единой молекулы. Положение этой линии в спектре сильнее всего зависит от диаметра УНТ и позволяет определять не только наличие УНТ в образце, но и их диаметр. Эта зависимость имеет вид:  $\nu_{RBM} = \frac{260}{d}$ ,

где  $d$ - диаметр УНТ в нанометрах, однако для различных типов УНТ коэффициент в числителе может незначительно отличаться.

Таким образом, наличие в спектре КР G-моды и радиальной дыхательной моды, а также D-моды, смещенной относительно соответствующего колебания графита говорит о наличии в образце УНТ небольшого диаметра, одностенных либо двустенных.

Так как в большинстве исследуемых образцов многостенные УНТ преобладают над одностенными, в результате чего и спектры образцов отличаются от спектров одностенных УНТ: в случае многостенных УНТ возбуждающее излучение взаимодействует с внешними трубками, имеющими большой диаметр (от нескольких нанометров до нескольких десятков нанометров), тогда как внутренние трубки экранируются. Учитывая обратную пропорциональность диаметру сдвига D-моды и расщепления G-моды, отличия этих линий в спектре от линий графита становятся намного меньше разрешения спектра, а следовательно не могут быть обнаружены экспериментально. Таким образом, в случае многостенных УНТ в спектре отсутствует радиальная мода, а D- и G-моды практически невозможно отличить от D- и G-мод графита. Однако в спектрах многостенных УНТ интенсивность G'-моды на порядок ниже интенсивности D-моды, тогда как для графита G'-мода имеет интенсивность большую, чем D-мода. Определить наличие в образце многостенных углеродных нанотрубок можно по наличию в КР-спектре D- и G-мод и слабой по отношению к ним G'-моды при отсутствии радиальной моды, в то время, как наличие сильной G'-моды, не уступающей по интенсивности D-моды, характерно для аморфного графита. В случае, когда интенсивность G'-моды ниже интенсивности D- и G-мод, но сравнима с ними, можно предположить наличие в образце смеси графита и УНТ, однако количественный анализ ограничен зависимостью интенсивности G'-моды как от типа углеродной структуры, так и от упорядоченности УНТ.

## **ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА УГЛЕРОДНЫХ НАНОМАТЕРИАЛОВ И ПОЛИМЕРНЫХ НАНОКОМПОЗИТОВ В ШИРОКОМ ДИАПАЗОНЕ ТЕМПЕРАТУР**

Данилова-Третьяк С.М., Евсеева Л.Е., Танаева С.А.

*Институт тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова НАН Беларуси,*

*Минск, ул. П. Бровки, 15*

Экспериментально исследованы теплофизические свойства углеродных наноматериалов, произведенных в Институте тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова НАН Беларуси. Проведены сравнительные исследования очищенных углеродных наносодержащих порошков различных модификаций в диапазоне температур от  $-100^{\circ}\text{C}$  до  $150^{\circ}\text{C}$ .

Проведены экспериментальные исследования влияния типа (многостенные и одностенные углеродные нанотрубки, аэросил, бемит, активированный уголь) и концентрации (от 0 до 3,0 мас.%) нанонаполнителя на теплопроводность и удельную теплоемкость эпоксидных нанокompозитов в диапазоне температур от  $-150$  до  $+175^{\circ}\text{C}$ . Максимальное увеличение теплопроводности (в 1,5 раза) наблюдается в интервале концентраций от 0,1 мас.% до 1,0 мас.%. Дальнейшее повышение концентрации приводит к уменьшению теплопроводности.

Введение углеродных нанонаполнителей, содержащих многостенные и одностенные углеродные нанотрубки, в эпоксидную смолу приводит к значительному изменению температурного интервала стеклования нанокompозита, причем температуры перехода в высокоэластическое и в стеклообразное состояние начинают существенно зависеть от концентрации и типа углеродного нанонаполнителя. Существует критическая степень наполнения нанокompозита, при которой

происходит существенное понижение температуры стеклования (на 40°C).

Исследовано влияние адсорбированной влаги в нанонаполнителе на свойства не только нанонаполнителя, но и полимерного нанокомпозита.

Изучено влияние знакопеременных тепловых нагрузок (термоциклирования) на теплопроводность полимерных нанокомпозитов.

Рассмотрена возможность повышения теплопроводности нанокомпозитов.

## **ТЕРМОГРАВИМЕТРИЯ В ХАРАКТЕРИЗАЦИИ ДИСПЕРСНЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОМАТЕРИАЛОВ**

Доброго К.В., Козначеев И.А., Брич М.А.

*Институт тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова НАН Беларуси,  
Минск, ул. П. Бровки, 15*

Термогравиметрия (ТГ), безусловно, один из наиболее доступных методов усредненной по макроскопическому объему характеристики дисперсных углеродных наноматериалов (ДУН). Представляется интересным создание методик экспресс характеристики таких материалов на основе ТГ. При этом в основе ТГ лежат энергетические параметры вещества, напрямую связанные со структурой и компонентным составом дисперсных углеродных наноматериалов.

В докладе приводятся обобщенные данные по ТГ анализу, выполненному на установке MOM Q-1000 системы Паулик - Паулик Эрдэи для различных дисперсных углеродных наноматериалов среди которых наноалмазный порошок, терморасширенный графит, пиролитический графит, активированный уголь, технический углерод, углеродные наноматериалы, полученные по различным технологиям. По кривым потери веса при нагреве с использованием специальных

алгоритмов обработки данных для каждого вида дисперсных углеродных наноматериалов определялись температуры начала и конца разложения, температуры максимальной скорости разложения, а также доли потери веса при этих температурах. Исследования проводились при одинаковых для всех видов материалов условиях нагрева при атмосферном давлении в окислительной и в инертной среде. По результатам исследований была составлена карта, позволяющая провести предварительную классификацию наноматериалов

Приведены результаты молекулярно- динамического моделирования пиролиза фуллерита, проведено сравнение с экспериментальными ТГ данными. Показана методика восстановления структурных параметров ДУН на основе данных ТГ.

Поскольку характеристика дисперсных углеродных наноматериалов, предназначенных для специфических приложений предполагает получение информации о компонентном составе и структуре, то встает вопрос о возможности использования ТГ для более специфической характеристики. Для этого требуются адекватные групповые модели состава дисперсных углеродных наноматериалов. В докладе обсуждается возможность группового анализа многокомпонентных дисперсных углеродных наноматериалов методами термогравиметрии.

## **ХАРАКТЕРИЗАЦИЯ ДИСПЕРСНОГО УГЛЕРОДНОГО НАНОМАТЕРИАЛА ПО ПОГЛОЩЕНИЮ СВЧ ИЗЛУЧЕНИЯ**

Карпович В.А.<sup>1</sup>, Лабунов В.А.<sup>2</sup>, Оджаев В.Б.<sup>3</sup>, Родионова В.Н.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>НИУ «Институт ядерных проблем» БГУ, Минск, Беларусь

<sup>2</sup>УО «Белорусский государственный университет информатики и  
радиоэлектроники», Минск, Беларусь

<sup>3</sup>Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

Возрастающий круг прикладных возможностей углеродных наноматериалов определяет актуальность системной характеристики электродинамических свойств углеродных наноматериалов [1–3].

Основными электрофизическими параметрами, характеризующими радиоматериалы с точки зрения практического использования их в СВЧ диапазоне, являются коэффициент отражения  $\Gamma(\omega)$  и ослабление  $A(\omega)$  электромагнитной волны [4]. Для изучения взаимодействия углеродных наноматериалов с электромагнитным излучением в широком диапазоне частот, в частности эффективности экранирования интересны комплексные магнитная  $\mu(\omega)$  и диэлектрическая проницаемость  $\varepsilon(\omega)$ .

Рассмотрены волноводный, антенный и резонансный методы характеристика электродинамических свойств углеродных наноматериалов [5]. В основу построения схем измерения ослабления  $A(\omega)$  и коэффициента отражения  $\Gamma(\omega)$  положен принцип отдельного детектирования сигналов падающей, прошедшей и отраженной волны в волноведущем тракте. В основе резонансного метода определения диэлектрической проницаемости лежит измерение изменения добротности резонатора при помещении в него образца исследуемого

материала. Величина  $\varepsilon(\omega)$  выражается через отношение добротности с образцом и исходной добротности:

$$\varepsilon'' = \frac{1}{gQ_1^0} \left( \frac{Q_1^0}{Q_2^0} - 1 \right),$$

где  $Q_1^0$  - добротность резонатора без образца,  $Q_2^0$  - добротность резонатора с образцом,  $g$  - фактор заполнения [6].

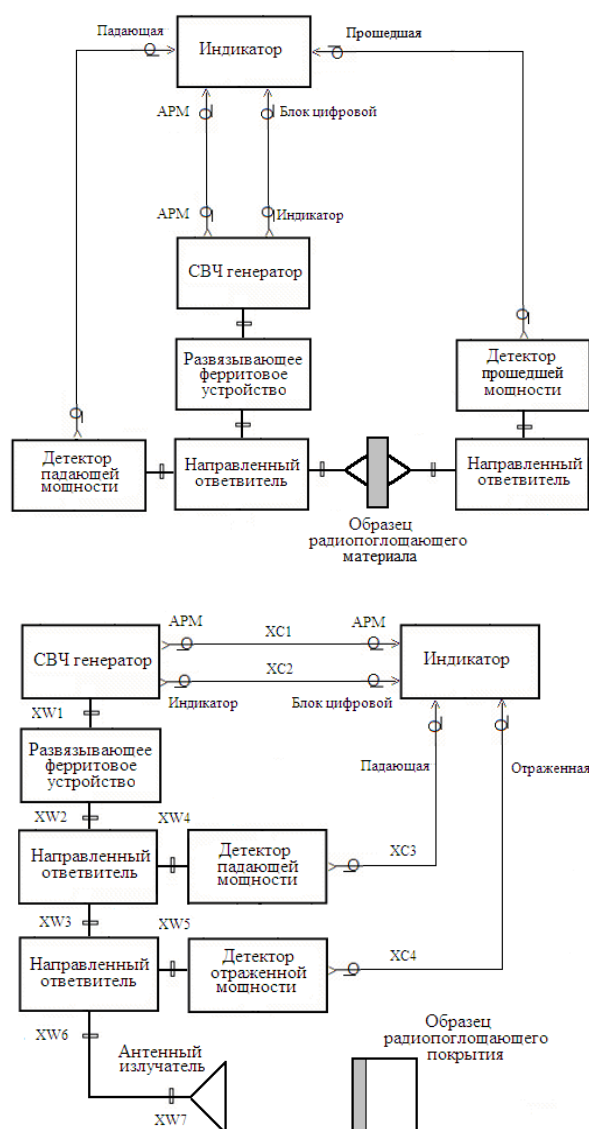


Рис.1. Структурные схемы измерения ослабления и коэффициента отражения электромагнитной волны углеродными наноматериалами.

На основе высокодобротных широкодиапазонных резонаторов разработаны методики и оборудование для прецизионного измерения

характеристик углеродных наноматериалов и нанокомпозитов на их основе в СВЧ диапазоне [7]. Представлены структурные схемы и методика измерений. Описана специальная волноводная измерительная секция.

Приведены результаты измерений характеристик углеродных наноматериалов в СВЧ диапазоне.

Приведены результаты исследований по созданию радиопоглощающих материалов (РПМ) с использованием углеродных наноматериалов на основе расчета ослабления и коэффициентов отражения для заданных толщин РПМ и измеренных электрофизических характеристик созданных РПМ.

### ***Литература***

- [1]. Carbon Nanotubes: From Basic Research to Nanotechnology, ed. by V.N. Popov and P.Lambin, Springer, 2005.
- [2]. Раков Э. Г. // Успехи химии, 2000, Т. 69, С. 41.
- [3]. А.Н. Булатов. Первые макеты функциональных элементов углеродной наноэлектроники// Нанотехника. 2006. N2(6) С. 9 -13.
- [4]. Altman Dj. Microwave devices. (1970) New York: Mc-Graw Hill.
- [5]. Karpovich V.A., Rodionova V.N., Rakov A.G et al // VI Intern. Symposium on physics and engineering of microwave, millimetre and submillimeter waves. Kharkov, Ukraine, June 25-30, 2007, IRE NASU, p.825.
- [6]. А.М. Кугушев, Н.С. Голубева, В.Н. Митрохин. Основы радиоэлектроники. Электродинамика и распространение радиоволн. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2001.
- [7]. T. Gaevskaya, V. Karpovich, V. Rodionova. High Q-factor wideband resonators for millimeter and submillimeter applications// International Journal of Microwave Science and Technology, v.12, 2011, pp.89-91.

## **ХАРАКТЕРИЗАЦИЯ СТРУКТУРЫ МАТЕРИАЛА МЕТОДОМ АТОМНО-СИЛОВОЙ МИКРОСКОПИИ**

Худолей А. Л.

*Институт тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова НАН Беларуси,  
Минск, ул. П. Бровки, 15*

В докладе приведены примеры модифицирования острия зонда атомно-силового микроскопа углеродными нанотрубками, представлены результаты индентирования поверхности материала углеродной нанотрубкой, показаны возможности характеристики единичной нанотрубки на жесткой подложке, описаны особенности выявления морфологии сферической частицы углерода в высокопрочном чугуна. Также, проиллюстрированы возможности использования атомно-силового микроскопии для характеристики структуры и свойств покрытий, тонких пленок и конструкционных материалов. Показано, что метод АСМ позволяет определять изменение площади поверхности, например, после травления или специального текстурирования поверхности. Рассмотрены комплексные методические подходы к определению механических и физических свойств материала, установлению его термомеханических характеристик, оценке трибологических свойств поверхностей, измерению микро- и нанотвердости.

## **УГЛЕРОДНЫЕ НАНОСТРУКТУРЫ КАК ЗОНДЫ И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЛЯ АТОМНО-СИЛОВОЙ МИКРОСКОПИИ**

Дрозд Е.С.

*Институт тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова НАН Беларуси,*

*Минск, ул. П. Бровки, 15*

Интенсивное развитие атомно-силовой микроскопии (АСМ) позволило достичь уникальных научных результатов в различных областях физики и биологии благодаря новым экспериментальным возможностям: нанометровое пространственное разрешение при анализе поверхности, неразрушающий характер исследований для широкого класса образцов и сред, возможность локальной оценки физико-механических свойств микро- и нанообъектов. Одним из объектов АСМ-исследований стали углеродные наноструктуры (УНС). Причем их изучение ведется в двух направлениях: визуализация, оценка физико-механических свойств и взаимодействие УНС с биологическими объектами. Рассматривается возможность использования УНС в качестве курьеров либо «наноигл», доставляющих в живые клетки различные белки, нуклеиновые кислоты, лекарства [1, 2, 3]. Также возможно проанализировать биораспределение и токсичность нанотрубок, использовать их в качестве каркаса для тканевой инженерии [4].

С другой стороны УНС нашли применение и в качестве острий для атомно-силовых микроскопов. Пространственное разрешение АСМ во многом определяется геометрией острия зонда. Обычные зонды имеют пирамидальную форму зонда либо в виде конуса, с радиусом закругления острия, как правило, 20-40 нм. Однако использование

УНС для модификации АСМ-зонда, позволило уменьшить размер острия в несколько раз, тем самым повысить разрешающую способность.

***Литература***

- [1]. Chen, R. J., Bangsaruntip, S., Drouvalakis, K. A., Kam, N. W. S., Shim, M., Li, Y. M., Kim, W., Utz, P. J. & Dai, H. J. Noncovalent functionalization of carbon nanotubes for highly specific electronic biosensors. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 2003; 100: 4984–4989.
- [2]. Chen X., Kis A., Zettl A., Bertozzi C.R. A cell nanoinjector based on carbon nanotubes, Proc Natl Acad Sci USA 2007; 104: 8218.
- [3]. Neves V., Heister E., Costa S., Tilmaciu C., Flahaut E., Soula B., Coley H. M., McFadden J., Silva S. R. P. Design of double-walled carbon nanotubes for biomedical applications Nanotechnology 2012; 23: 365102-365110.
- [4]. Lu F.S., Gu L.R., Meziani M.J. et al. Advances in bioapplications of carbon nanotubes. Adv Mater. 2009;21(2):139-152.

**ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ  
ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТАЛЛОМАТРИЧНЫХ  
КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ  
НАНОУГЛЕРОДА**

Ваганов В.Е.<sup>1</sup>, Решетняк В.В.<sup>1</sup>, Евдокимов И.А.<sup>1</sup>,  
Пивоваров Г.И.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Владимирский государственный университет*

*им. А.Г. и Н.Г. Столетовых, г. Владимир*

<sup>2</sup>*Технологический институт сверхтвёрдых и новых углеродных  
материалов, г. Троицк*

Одним из перспективных способов повышения физико-механических свойств металлов является создание композитов, использующих в качестве наполнителя углеродные нанодобавки различной структуры. В настоящей работе представлены результаты исследования нанокомпозитов на основе металлов алюминия и меди и углеродных

наноструктур: многослойные углеродные нанотрубки (МУНТ); фуллерит (C<sub>60</sub>). Исследования выполнены с использованием структурных методов: электронная микроскопия; рентгеноструктурный анализ (РСА); спектроскопия комбинационного рассеяния света (КРС); дифференциальная сканирующая калориметрия; а так же теоретически, методами квантовой химии.

Для получения НКМ системы алюминий-наноуглерод в качестве матрицы использовали технически чистый алюминий марки АД0. Медные нанокомпозиты получали с применением порошковой меди ПМС-1 (размер отдельных частиц не превышает 63 мкм, по ГОСТ 4960) и наноразмерная медь (50 нм ТУ 1791-003-36280340-2008). Механоактивационную (МА) обработку исходных материалов осуществляли в планетарных мельницах, при варьировании времени обработки и частоты вращения центрального вала от 400 до 900 об/мин. Для предотвращения окисления и протекания других нежелательных реакций, все операции с порошками алюминия и исходными компонентами проводили в заполненном аргоном перчаточном боксе BRAUN 7042 при чистоте газа не хуже 0,1 ppm. Для подготовки смесей на основе медных порошков применялась технология сухого и мокрого смешения в атриторах и планетарных мельницах.

Механоактивированные порошки на основе алюминия спекали в камерах типа «поршень – цилиндр» под давлением  $\approx 0,8$  ГПа, при нагреве до температуры 280-300 °С и времени изотермической выдержки 5 мин. Предел прочности при сжатии определяли для образцов диаметром 5,0 мм и высотой 6-7 мм на универсальной разрывной машине Instron 5982. Объемные заготовки медных нанокомпозитов получали методом одноосного прессования и последующего спекания, а также с применением метода горячего газостатического прессования при температуре  $T=950^{\circ}\text{C}$ ; давление аргона  $P = 130$  МПа, время выдержки – 3 часа.

Результаты механических испытаний (прочность и пластичность на сжатие, измерение микротвердости, испытание на растяжение) показали, что свойства нанокompозитов на основе алюминия и меди, превышают свойства матричных материалов, а также ряда промышленных сплавов на их основе на 50% и более. В обоих матричных материалах наиболее эффективной упрочняющей добавкой являлись фуллерены. Нанокompозиты с применением УНТ имели прочность аналогичную или несколько ниже, чем на основе фуллеренов.

Как показали результаты рентгеноструктурного анализа, в процессе механоактивации средний размер кристаллитов алюминия уменьшается от исходного размера 250-300 нм до 40-90 нм, в зависимости от типа и концентрации УНС. С увеличением концентрации УНС степень и скорость измельчения увеличиваются, что обусловлено замедлением процессов рекристаллизации.

Теоретические исследования, выполненные методом DFT с использованием функционала плотности B3LYP и программного пакета PC GAMESS, подтвердили известную гипотезу повышения механических свойств, обусловленного образованием металлоуглеродных комплексов [1-3]. Термодинамический анализ также свидетельствует, что такие реакции возможны и энергетически выгодны. Теоретические расчеты показали, что наблюдаемое увеличение механических свойств может быть следствием взаимодействия катионов металлов с  $\pi$ -оболочками поверхности УНТ, в результате ионизации атомов металлов кислородосодержащими функциональными группами.

### *Литература*

- [1]. Maxwell A.J., Bruhwiler P.A., Andersson S., etc. C<sub>60</sub> on Al(111): Covalent bonding and surface reconstruction // Physical Review: B. – 1995. – Vol. 52, No. 8. – P. 5546-5549.
- [2]. Kim K.T., Cha S.I., et. al. The role of interfacial oxygen atoms in the enhanced mechanical properties of carbon nanotube reinforced metal matrix nanocomposites // Small. – 4 (11) 2008. – P. 1936 – 1940.
- [3]. Mina Park, Byung-Hyun Kim, et. al. Improved binding between copper and carbon nanotubes in a composite using oxygen-containing functional groups // Carbon. – 49 2011. – P. 811-818.

# **УГЛЕРОД-ФТОРУГЛЕРОДНЫЕ ГИБРИДНЫЕ НАНОКОМПОЗИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ УСТРОЙСТВ ХРАНЕНИЯ И ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ**

Митькин В.Н., Левченко Л.М.

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки*

*Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН*

Целью НИОКР являлась разработка принципов и методов создания новых типов нанокompозитных материалов (НКМ) и функциональных материалов на основе неорганических углеродных и фторуглеродных полимерных матриц для их применения в качестве электродов литиевых химических источников тока (ХИТ), а также электроаналитических сенсоров и преобразователей ИК-излучения в электрические сигналы.

Основным методологическим принципом направленного синтеза НКМ с заданными свойствами является осуществление межфазных химических связей наноблоков  $sp^2$ - и  $sp^3$ -углерода углеродных и фторуглеродных матриц на основе сверхстехиометрического фторуглерода  $CF_{1.18-1.33}$  с наружными атомами поверхности наноблоков или частиц выбранного углеродного материала при механохимическом межчастичном взаимодействии, сопровождающемся образованием летучего компонента (дегидратации и др.) и химической межфазной сшивкой между взаимодействующими наноблоками исходных матриц.

Разработаны методы синтеза и физико-химической диагностики полимерных неорганических НКМ на основе мезофазного углерода, терморасширенного графита (ТРГ), фторуглеродных наноразмерных материалов и функциональных композиционных материалов на их основе, обладающими высокой электрохимической или термической чувствительностью и селективностью к заданным параметрам среды, с

программируемым сочетанием гидрофобности и гидрофильности, с высокой химической и термической стабильностью и заданными механическими свойствами (жесткостью или гибкостью) [1, 2].

Созданы новые функциональные нанокомпозиты - не имеющие аналогов углеродсодержащие НКМ на основе углерод-фторуглеродных нанокомпозитных матриц типа УФУНКМ, гидролизованные УФУНКМ, а также НКМ для электроаналитических сенсоров на основе систем “ТРГ-Pt(Pd)”, высокоэффективных катодов ФУКМ первичных литиевых химических источников тока (удельная емкость до 680 мАч/г) и литий-ионных аккумуляторов “ТРГ – Si” (удельная емкость до 400 мАч/г). Разработки защищены 15 патентами РФ и США (совместно с НЗХК).

Предложена и запатентована концепция нового типа электрического химического углеродсодержащего наноконтакта (патент RU 2398312). Разработаны и испытаны новые типы электродных НКМ, в т.ч. углеродсодержащие резистивные материалы с поверхностным углеродным химическим наноконтактом (токосяемом) с широким диапазоном регулируемых удельных сопротивлений  $0.1-10^{12}$  Ом\*см, НКМ для литиевых ХИТ, на порядок превосходящие по плотности тока разряда известные рыночные и патентные аналоги и на 30-40% более энергоемкие, чем лучшие японские катоды, новые нанокомпозитные материалы для термопарных сенсоров НТСП-ИК. Созданы новые типы углеродных нанопористых матриц для хранения гидридных фаз и нанокомпозиционные углеродсодержащие термосенсорные материалы и термопары с коэффициентом термоЭДС  $\sim 17$  мкВ/°С при 20-100 °С.

НИОКР поддержаны Госконтрактами Роснауки №№ 02.434.11.2001 от 14.04.2005 и 02.513.11.3112 от 07.05.2007.

### ***Литература***

- [1]. Митькин В.Н. / Новейшие электродные материалы для литиевой химической энергетики // Новосибирск: Изд-во ОАО НЗХК, 2001. 162 с.
- [2]. Levchenko L.M., Mitkin V.N. et al. // Journal of Fluorine Chemistry, 2011, vol. 132, No 12, pp. 1134-1145

## **МОДИФИКАЦИЯ ЭЛАСТОМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ УГЛЕРОДНЫМИ НАНОКОМПОНЕНТАМИ**

Мансурова И.А.<sup>1</sup>, Фомин С.В.<sup>1</sup>, Ваганов В.Е.<sup>2</sup>, Копалина О.Ю.<sup>1</sup>,  
Погорельский И.П.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВПО «Вятский государственный университет»

<sup>2</sup>ФГБОУ ВПО «Владимирский государственный университет»

Углеродные наноматериалы нитевидного строения – углеродные нанотрубки (УНТ) и нановолокна (УНВ) являются потенциальными модификаторами резин благодаря своим механическим, деформационным и специальным свойствам. Многостенные УНТ, не смотря на высокую механическую прочность способны к критическим деформациям изгиба, растяжения, сжатия, которые осуществляются за счет перестройки структуры без нарушения сплошности, им присущ телескопический эффект и, наконец они сами по себе (УНТ и УНВ) обладают каучукоподобными свойствами. Кроме того, весьма привлекательным является способность сверхмалых добавок углеродных наночастиц влиять на надмолекулярную структуру полимеров, способствующую их упрочнению [1], а наличие большой площади поверхности - на возможность реализации более эффективной передачи нагрузки от матрицы к наполнителю [2].

Целью работы является исследование механических, деформационных, электрических, термических и иных свойств вулканизатов, модифицированных МУНТ, УНВ различной морфологии и химии поверхности; оценка интегральной токсичности исследуемого углеродного наноматериала методом биотестирования.

Активное использование УНТ и УНВ в эластомерных композициях сдерживается их плохими технологическими свойствами: склонностью к агрегированию, сложностью диспергирования до наноуровня и

устойчивого распределения в каучуковой среде. В связи с этим требуется разработка специальных подходов к модификации резиновых смесей, оптимизация режимов резиносмещения.

В рамках поставленных задач исследованы наполненные вулканизаты на основе каучуков общего и специального назначения, содержащие исходные и функционализированные углеродные наноструктуры.

Установлено влияние модификации наполнителей, в частности техуглерода высокой, средней и малой активности исходными углеродными наночастицами с площадью поверхности от 100 до 324 м<sup>2</sup>/г на структуру и свойства вулканизатов.

Предложены способы направленной функционализации углеродных наноструктур для формирования оптимальных, с точки зрения рецептуростроения молекулярных остатков и функциональных групп на поверхности УНТ и УНВ.

С помощью различных тест-объектов (бактерии, простейшие и высшие животные) [3, 4] исследованы токсикологические свойства ряда использованных для модификации резин углеродных наноматериалов в сравнении с техническим углеродом, традиционным наполнителем резин.

### *Литература*

- [1]. Влияние «гомеопатических» добавок углеродных наноматериалов на свойства полиуретановых эластомеров / Э.Р. Бадамшина, Е.Г. Атовмян, А.А. Гришук и др. Институт проблем химической физики РАН.
- [2]. Dispersion and functionalization of carbon nanotubes for polymer-based nanocomposites: A review / Peng-Cheng Ma, Naveed A. Siddiqui, Gad Marom // Composites: Part A. - 2010. P. 1345 - 1367.
- [3]. Методы определения токсичности и опасности химических веществ (токсикометрия). Под ред. Проф. И.В. Саноцкого. М., «Медицина», 1970. 350.с.
- [4]. МР 01.018-07 Методика определения токсичности химических веществ, полимеров, материалов и изделий с помощью биотеста «Эколюм».

## **СИНТЕЗ И ПРИМЕНЕНИЕ РАЗУПОРЯДОЧЕННЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОСТРУКТУР**

Бауман Ю.И.<sup>1</sup>, Руднев А.В.<sup>2</sup>, Лысакова А.С.<sup>3</sup>, Ворошилов В.А.<sup>4</sup>,  
Мишаков И.В.<sup>1,3</sup>, Ведягин А.А.<sup>1,3</sup>, Шубин Ю.В.<sup>2</sup>, Селютин Г.Е.<sup>4</sup>,  
Буянов Р.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Институт катализа СО РАН, г. Новосибирск;*

<sup>2</sup>*Институт неорганической химии СО РАН г. Новосибирск;*

<sup>3</sup>*Новосибирский государственный технический университет,  
г. Новосибирск;*

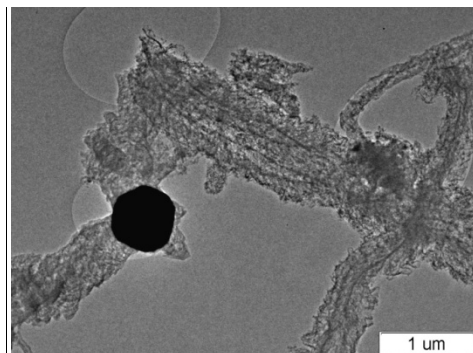
<sup>4</sup>*Институт химии и химической технологии СО РАН, г. Красноярск*

Одно из преимуществ углеродных нанотрубок (УНТ) и нановолокон (УНВ) заключается в том, что большинство их свойств могут быть изменены и скорректированы, в зависимости от целевого приложения. Основной метод синтеза УНВ основан на каталитическом разложении углеводородов на Fe-, Co- или Ni-содержащих катализаторах [1].

В зависимости от природы разлагаемого сырья образуются наноструктурированные продукты, отличающиеся по своей морфологии [2]. Например, при разложении хлорзамещенных углеводородов формируются разупорядоченные, дефектные нановолокна, которые были названы «бамбукоподобными» или «перистыми» [3,4].

В докладе будут представлены результаты исследования структуры и свойств углеродного продукта, образующегося в результате разложения компонентов хлорорганических отходов по «механизму карбидного цикла» с получением УНВ [5]. Процесс осуществляли с использованием массивных сплавов на основе никеля в качестве катализатора. Установлено, что в результате контакта хлоруглеводородов с массивными изделиями протекает их углеродная эрозия с образованием активных центров роста УНВ (см. рис.1). Активность катализаторов на

основе массивных сплавов (металлов) в несколько раз превышает активность традиционных нанесенных катализаторов [6].



*Рис. 1. Снимок ПЭМ. Активный центр роста УНВ, сформировавшийся из никель-медного сплава при контакте с 1,2-дихлорэтаном при 600°C.*

В докладе также будут представлены результаты каталитического разложения 1,2-дихлорэтана на модельных никелевых сплавах Ni-M (M = Cu, Co, Cr), приготовленных методом соосаждения и спекания солей-предшественников.

Структура образующихся углеродных нановолокон характеризуется высокой дефектностью и, как следствие, развитой удельной поверхностью (до 400 м<sup>2</sup>/г). Такие материалы являются перспективными добавками к смазочным материалам. Результаты показали, что добавление ~ 0.05% УНВ перистой морфологии в состав минерального масла приводит к значительному уменьшению температуры его разогрева и снижению контактного износа в несколько раз.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Российского Фонда Фундаментальных Исследований (проект № 12-03-31729).

#### ***Литература***

- [1]. Э.Г. Раков, Успехи химии 76 (2007) 3.
- [2]. A. Shaikjee, N.J. Coville, Carbon 50 (2012) 3376.
- [3]. A. Nieto-Marques et. al. Applied Catalysis A-general 332 (2007) 237.
- [4]. И.В. Мишаков и др. Доклады Академии Наук, 386 (2002) 33.
- [5]. В.В. Чесноков, Р.А. Буянов, Успехи химии 69 (2000) 675.
- [6]. Ю.И. Бауман и др. Катализ в промышленности 2 (2012) 18.

## **ПРИМЕНЕНИЕ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК ДЛЯ СОЗДАНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ПОНИЖЕННОЙ ГОРЮЧЕСТИ**

Ваганов В.Е.<sup>1</sup>, Решетняк В.В.<sup>1</sup>, Нефедова Е.В.<sup>1</sup>, Ломакин С.М.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г.*

*Столетовых, г. Владимир*

<sup>2</sup>*Институт биохимической физики РАН им. Н.М. Эммануэля*

Снижение горючести полимеров является одной из наиболее актуальных проблем современного материаловедения. Для ее решения широко используются добавки (антипирены) на основе галогенов, производных фосфора, гидроксидов металлов, наночастиц различной природы. В работах [1, 2] для снижения горючести полипропилена, полиметилметакрилата и других полимеров применялись углеродные нанотрубки (УНТ). В настоящей работе выполнено исследование влияния УНТ на горючесть полиэтилентерефталата (ПЭТФ).

В целях равномерного распределения УНТ в объеме полимерного волокна, получаемого в условиях реального технологического процесса, была разработана оригинальная методика введения нанотрубок в процессе изготовления волокна включающая в себя предварительную фунционализацию УНТ и получение модифицированных гранул для их последующего введения в расплав совместно с подготовленным флэксом.

На основании исследований с применением растровой электронной микроскопии и механических испытаний волокон сделан вывод о равномерном распределении УНТ в матрице ПЭТФ. Результаты исследований методом ТГА свидетельствуют о незначительном влиянии УНТ на первичную стадию термической деструкции ПЭТФ, характеризующуюся разрывом эфирных связей. Стабилизирующий

эффект УНТ наблюдается на второй стадии термодеструкции, протекающей по радикальному механизму.

При термической деструкции в процессе испытаний на воспламеняемость композиционного материала наблюдалось увеличение выхода коксового остатка в сравнении с чистым полимером. Поскольку в нанокompозитах на основе полипропилена, полиметилметакрилата и других полимеров так же наблюдалось увеличения выхода коксового остатка, этот эффект был ожидаемым.

Теоретические исследования взаимодействия УНТ с олигомерами ПЭТФ и ПП были выполнены с использованием полуэмпирического метода квантовой химии PM3 и программного пакета PC GAMESS. Рассматривалось взаимодействие олигомеров ПЭТФ, содержащих 2 мономерных звена с боковой поверхностью фрагмента однослойной УНТ (6, 0), модифицированной различными функциональными группами (ОН, СООН, F) а так же одно из возможных направлений реакции в этих системах.

Поиск равновесного состояния системы свидетельствует о том, что олигомер ПЭТФ взаимодействует с функционализированной поверхностью УНТ по диполь-дипольному механизму. Незначительное изменение молекулярной электронной структуры ПЭТФ (заселенность атомных орбиталей, значения двучентровых интегралов перекрывания ковалентно связанных атомов) позволяет сделать вывод о несущественном влиянии УНТ на характеристики связей в ПЭТФ.

Расчетные значения энергии связи функциональных групп с боковой поверхностью УНТ не превышают 65 ккал/моль, что свидетельствует о высокой вероятности отрыва функциональной группы от поверхности УНТ при нагреве. В силу полярности связи функциональных групп с поверхностью УНТ следует ожидать, что разрыв связи сопровождается ионизацией как поверхности, так и функциональной группы. Ионы функциональных групп химически активны, и могут вступать в реакцию

с олигомерами ПЭТФ. В настоящей работе рассматривалось одно из возможных направлений реакции. Считалось, что функциональной группой осуществляется отрыв протона, в результате чего происходит ионизация олигомера. В результате химическая активность УНТ и углеводородов значительно увеличивается. Поиск равновесного состояния системы ПЭТФ-УНТ свидетельствует о возможности образования ковалентных связей между ионами атомов углерода ПЭТФ и УНТ. Этим может быть объяснено замедление выхода горючих углеводородов в газовую фазу и повышение количества карбонизированного остатка при сгорании полимера. Можно предположить, что рассмотренный механизм влияния УНТ на карбонизацию полимеров может быть обобщен для различных углеводородных соединений, находящихся в конденсированном состоянии.

#### ***Литература***

- [1]. Azat D. Rakhimkulov, S. M. Lomakin, I. L. Dubnikova, A. N. Shchegolikhin, E. Ya Davidov, R. Kozlowski // J. Mater. Sci. – 2009.
- [2]. Kashiwagi T. Flame retardant mechanism of the nanotubes based nanocomposites. Final report. Prepared for US Department of Commerce Building and Fire Research Laboratory National Institute of Standards and Technology. – September, 2007.

## **ФУНКЦИОНАЛИЗАЦИЯ УГЛЕРОДНЫХ НАНОМАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРИМЕНЕНИЯ**

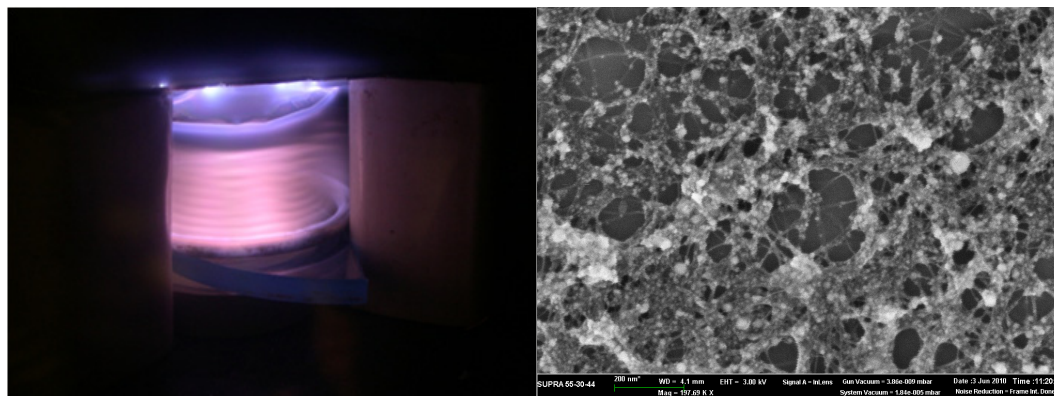
Филатов С.А., Батырев Е.В., Кучинский Г.С.,  
Александронец А.С.

*Институт тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова НАН Беларуси,  
Минск, ул. П. Бровки, 15*

Различные области использования углеродных нанотрубок и наноструктурированного углерода требуют наличия у них специфических функциональных свойств, которые определяются особенностями их структуры и структуры их поверхности. Дополнительную возможность улучшения функциональных свойств углеродных наноматериалов (УНМ) обеспечивает химическая модификация их поверхности путем окисления, фторирования, либо формирования на поверхности функциональных групп. При этом функциональные группы, расположенные на поверхности УНМ можно использовать для фиксации катализатора, модификации смачиваемости, для увеличения эффективности электрокатализа, для придания УНМ свойств, необходимых для их использования в качестве эффективных аддитивов в полимерные и конструкционные материалы.

Традиционно [1-6] функционализацию поверхности УНМ проводят длительным термическим окислением при температурах 250-280<sup>0</sup>С, обработкой в смесях концентрированных кислот с последующей промывкой в воде и сушкой, обработкой в кипящей азотной кислоте. Такие подходы энергоемки и не позволяют организовать непрерывный процесс функционализации поверхности. К перспективным методам функционализации поверхности УНМ следует отнести методы химического осаждения из пара (CVD) совмещенные с процессом роста

углеродных нанотрубок, отвечающие требованиям современного производства и обеспечивающие воспроизводимость результатов синтеза (рис. 1).



*Рис. 1. Магнетронный разряд в установке CVD синтеза углеродных нанотрубок и структура формируемых горизонтально упорядоченных УНТ*

Рассмотрены другие методы, связанные с воздействием электромагнитного излучения микроволнового диапазона или комбинации микроволнового излучения с химической модификацией поверхности, позволяющие образовать функциональные группы С=О и N-H; фторирование УНМ и их функциональных производных с перспективами применения в нанокомпозитах, электронных устройствах и смазках; методики модификации поверхности УНМ кислородсодержащими группами, органическими, в том числе аминокислотами, фрагментами для эффективного связывания с макромолекулами и физико-химическое исследование полученных материалов для последующего применения в производстве полимерных материалов, в катализе и др.

#### ***Литература***

- [1]. M. Burghard and K. Balasubramanian (2005). Chemically Functionalized Carbon Nanotubes. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, D-69451 Weinheim ;2005 1, No. 2, 180–192
- [2]. S S. Musso et al. (2007, January 2). Modification of MWNTs obtained by thermal-CVD. Diamond & Related Materials 16 (2007) 1183–1187,
- [3]. A. L. Flory, T. Ramanathan and L. Catherine Brinson, Physical Aging of Single Wall Carbon Nanotube Polymer Nanocomposites: Effect of Functionalization of the Nanotube on the Enthalpy Relaxation. *Macromolecules*, 2010, 43 (9), pp 4247–4252

- [4]. A. Hirsch. Functionalization of Single-Walled Carbon Nanotubes. Int. Ed. 2002, 41, No. 11, 2002 1433-851/02/4111-1853
- [5]. N. G.Sahooa, S. Ranab, et al. Polymer nanocomposites based on functionalized carbon nanotubes. a School of Mechanical and Aerospace Engineering, progress in Polymer Science 35 (2010) 837–867
- [6]. N. Karousis and N. Tagmatarchis Current Progress on the Chemical Modification of Carbon Nanotubes. American Chemical Society Chemical Reviews, 2010, Vol. 110, No. 9 Chem. Rev. 2010, 110, 5366–5397

## **ПРИМЕНЕНИЕ АЛЛОТРОПНЫХ ФОРМ УГЛЕРОДА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ЭЛЕКТРОНИКИ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ГЕНЕРАЦИИ И ХРАНЕНИЯ ЭНЕРГИИ**

Лабунов В.А.

*Белорусский Государственный Университет Информатики и  
Радиоэлектроники, Минск, ул.П. Бровки, 6*

В работе формулировано и частично реализовано новое перспективное с научной и практической точек зрения направление исследований «Применение аллотропных форм углерода (массивов УНТ, слоёв графена и гибридных наноструктур УНТ – графен) для повышения эффективности функциональных элементов электроники и возобновляемых источников генерации и хранения энергии». Для реализации этого направления разработана единая унифицированная, основанная на ХПО процессах, технология производства массивов УНТ, графена и гибридных наноструктур на их основе, совместимая с технологией микроэлектроники. Это значительно снизит стоимость разработок и конечных продуктов и приведёт к повышению воспроизводимости и стабильности получаемых результатов.

В рамках этой унифицированной технологии впервые в мировой практике синтезированы гибридные наноструктуры, представляющих

собой массивы вертикально ориентированных углеродных нанотрубок с планарными графеновыми слоями, расположенными на их поверхности (УНТ/графен наноструктуры). Разработана технология синтеза гибридных наноструктур, представляющих собой слои графена (сплошные и хлопьевидные) в сочетании с массивами горизонтально ориентированных углеродных нанотрубок на их поверхности (графен/УНТ наноструктуры). Показано, что гибридные наноструктуры обладают уникальными по сравнению с любыми другими наноструктурами свойствами.

С использованием этой технологии уже созданы УНТ эмиссионные устройства с уникальными характеристиками (плотность тока эмиссии  $1-10 \text{ А/см}^2$ ); экраны электромагнитного излучения в СВЧ диапазоне с коэффициентом затухания 50 дБ; получены магнитные характеристики массивов УНТ, которые позволят создать датчики магнитного поля и магнитные устройства хранения и обработки информации, превышающие по своим характеристикам известные мировые достижения. Получены предварительные результаты, свидетельствующие о том, что применение унифицированного подхода позволяет наиболее рациональным путём повысить эффективность органических солнечных элементов, топливных элементов, литиевых батарей и суперконденсаторов.

## **УГЛЕРОДНЫЕ НАНОСТРУКТУРЫ В ОПТИКЕ**

Каманина Н.В.<sup>1,2,3\*</sup>, Васильев П.Я.<sup>1</sup>, Студёнов В.И.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ОАО «Гои им.С.И.Вавилова», Кадетская линия, д.5, корпус 2, Санкт-Петербург, 199053, Россия. \*E-mail: nvkamaniina@mail.ru

<sup>2</sup>СПбГЭТУ «ЛЭТИ», улица Профессора Попова, дом 5, Санкт-Петербург, 97376, Россия

<sup>3</sup>СПбТУ «ИТМО», Кронверкский проспект, д.49, Санкт-Петербург, 197101, Россия

После открытия фуллеренов (1985) и углеродных нанотрубок (1991) в оптоэлектронике был определен ряд перспективных направлений, связанных с разработками и изучением свойств органических и неорганических материалов, структурированных углеродными нанообъектами. На основе ранее проведённых исследований [1-3] и ныне сделанного анализа, в данной работе показано влияние углеродных наноструктур на изменение спектральных, прочностных, фоторефрактивных, фотопроводниковых и динамических свойств неорганических и органических материалов, а именно установлено, что:

- 1) в наноструктурированных органических материалах на основе матриц с изначально существующим донорно-акцепторным взаимодействием регистрируется батохромный сдвиг в спектрах поглощения и увеличение локальной поляризуемости единицы объёма среды;
- 2) светоиндуцированное изменение показателя преломления в наноструктурированных органических материалах на порядок и более превосходит таковой для чистых матричных структур;
- 3) подвижность носителей в органических нанокомпозитах, по крайней мере, на порядок превосходит таковое значение для исходных матричных систем;
- 4) в жидкокристаллических (ЖК) наноструктурированных элементах быстрое действие переключения электрооптического отклика может быть

увеличено, по крайней мере, в 2-5 раз, в сравнении с традиционными инерционными ЖК-смесями на основе цианобифенилов; 5) структурирование поверхности неорганических материалов углеродными нанотрубками приводит к увеличению пропускания и снижению отражения, а также к снижению шероховатости поверхности; 6) прочность на истирание и микротвёрдость неорганических материалов при лазерном осаждении на их поверхность углеродных нанотрубок увеличивается не менее, чем на 6-10%, по сравнению с чистыми матричными системами; 7) структурирование поверхности поляроидных плёнок углеродными нанообъектами приводит к увеличению пропускания параллельной компоненты светового луча, сохраняя, практически, на неизменном уровне пропускание ортогональной составляющей.

Отметим, что основная причина использования фуллеренов, шунгитов, графенов (и квантовых точек) связана, на наш взгляд, с их уникальной системой энергетических уровней, высоким значением сродства к электрону, большой поверхностной энергией; основная причина использования углеродных нанотрубок и графенов обусловлена их высокими прочностными параметрами в связи с наличием большого количества трудно разрушимых C—C связей, высокой проводимостью, высокой поверхностной энергией, а также малостью показателя преломления углеродных нанотрубок на уровне  $n \approx 1.1$ .

Исследования поддержаны грантом РФФИ №10-03-00916 (2010-2012), №13-03-00044 (2013-2015), а также ФЦП НТБ программой, проект «Модулятор с ПЭВ» (2011) и СЧ ОКР «Нанокоатинг-ГОИ» (2012-2015).

#### *Литература*

[1]. Н.В. Каманина, Фуллеренсодержащие диспергированные нематические жидкокристаллические структуры: динамические характеристики и процессы самоорганизации, УФН 175 (2005) 445.

[2]. N.V.Kamanina, P.Ya.Vasilyev, A.I.Vangonen, V.I.Studeonov, Yu.E.Usanov, F.Kajzar, A.-J.Attias, Photophysics of organic structures doped with nanoobjects: Optical limiting, switching and laser strength, Mol. Cryst. Liq. Cryst. 485 (2008) 197.

[3]. N.V.Kamanina, S.V.Serov, N.A.Shurpo, S.V.Likhomanova, D.N.Timonin, P.V.Kuzhakov, N.N.Rozhkova, I.V.Kityk, K.J.Plucinski, D.P.Uskokovic, Polyimide-fullerene nanostructured materials for nonlinear optics and solar energy applications, J Mater Sci: Mater Electron, DOI 10.1007/s10854-012-0625-9, published on-line 26 January 2012.

## **ПРОДУКТЫ ПЕРЕРАБОТКИ ПРИРОДНОГО СЛАНЦА. ИССЛЕДОВАНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ КОНСТРУКЦИОННЫХ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ УГЛЕРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Бейлина Н.Ю.

*ОАО «Научно-исследовательский институт конструкционных  
материалов на основе графита «НИИГрафит»*

Для производства изделий из искусственных графитов с высокими показателями плотности, прочности, тепло- и электропроводности и радиационной стабильности приоритетными являются технологии, позволяющие из углеводородного сырья получить наполнитель и связующее (кокс и пек), из которых при обработке до 2600-3000 °С образуется углерод в аллотропной модификации графита.

Передовые технологии, применяющие современные конструкционные графиты, предъявляют повышенные требования к однородности, плотности, чистоте сырьевых материалов, причем важнейшими являются низкая зольность и низкая сернистость, а также однородность по структуре кокса-наполнителя и высокие характеристики спекаемости и коксуемости пековой матрицы. Нефтяные коксы и пеки сегодня не удовлетворяют предъявленным требованиям.

Одним из перспективных видов сырья для углеродных конструкционных и функциональных материалов является смола термической переработки природного горючего сланца Прибалтийского бассейна. Из сланцевой смолы получают продукты, которые невозможно получить из нефти, углей и горючих сланцев других месторождений. Из-за высокого содержания в сланце кислорода (9-10%), большую часть сланцевой смолы составляют кислородсодержащие соединения, в том числе водорастворимые фенолы. Сланцевое масло для пропитки древесины отличается низкой температурой застывания, что позволяет успешно применять его зимой и в полярных условиях. Эпоксидная смола на основе сланцевых фенолов отверждается при температурах близких к 0 °С.

Остаток атмосферной дистилляции (ОАД) сланцевой смолы и продукты его окисления являются ценным сырьем для малосернистых пеков и коксов различной структуры и свойств, которые могут быть использованы в производстве графитированных электродов для металлургии, анодных масс и обожженных анодов для получения алюминия, антифрикционных графитированных материалов, а также для изготовления изотропных графитов для атомной энергетики. Продукты были получены на коксовой установке VKG OIL AS (г. Кохтла-Ярве, Эстония), исследованы и испытаны в ОАО «НИИГрафит», а также на электродных заводах России.

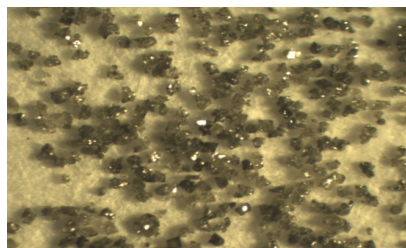
Из дистиллятов коксования ОАД получают коксы, отличающиеся повышенным содержанием игольчатых структурных составляющих, пригодные для производства графитированных электродов и ниппелей крупных сечений, работающих при повышенных плотностях тока. Испытания в производстве прошли на предприятии «УкрГрафит».

Сланцевые резорцины также могут быть использованы для получения кокса, который после графитизации является сырьем для

синтеза искусственного инструментального алмаза с хорошей морфологией частиц марки АС15 и АС6 по ГОСТ 9206-80.



*Кокс из резорцина получен в  
ОАО «НИИГрафит».*



*Синтетические алмазы из  
резорцинового кокса получены в ФГБУ  
«МИСиС».*

## **КОМПОЗИЦИОННЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ЦЕМЕНТНЫХ ВЯЖУЩИХ И УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК, ОБЛАДАЮЩИХ ПОВЫШЕННЫМИ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИМИ, ЭКСПЛУАТАЦИОННЫМИ И НОВЫМИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫМИ СВОЙСТВАМИ**

Ваганов В.Е., Петрунин С.Ю., Попов М.Ю., Решетняк В.В.

*Владимирский государственный университет имени А.Г. и Н.Г.*

*Столетовых, г. Владимир*

В настоящее время бетон является самым распространенным конструкционным строительным материалом в мире. Производство бетона и железобетона в мировой экономике составляет более 6 млрд м<sup>3</sup>. Так в Европе в строительстве на одного человека в год изготавливается примерно 2-3 м<sup>3</sup>, в США 3-4 м<sup>3</sup>, Японии 7-9 м<sup>3</sup> бетона [1]. Улучшение основных свойств материалов на основе цементных и гипсовых вяжущих является приоритетной задачей строительных материаловедов всего мира. Перспективным и активно развивающимся в последние годы способом повышения физико-механических и эксплуатационных

характеристик цементных композитов, а так же придание им новых функциональных свойств является модификация матрицы углеродными наноструктурами [3].

На сегодняшний день на базе центра углеродных наноматериалов Владимирского государственного университета ведутся исследования по применению многослойных углеродных нанотрубок (МУНТ) для создания высокопрочных и долговечных цементных композитов. Известно, что предварительная поверхностная функционализация МУНТ может оказывать влияние на свойства результирующего материала. Данные проведенных лабораторных экспериментов демонстрируют, что введение в объем бетона сотых долей процента углеродного наномодификатора способствует повышению прочности до 40-50%, при этом в случае использования функционализированных МУНТ возможно ускорение сроков твердения материала, а так же улучшение реологических показателей бетонной смеси [4].

Применение углеродных наноматериалов также является перспективным в цементных композитах на заполнителях, содержащих реакционные минералы, такие как аморфный кремнезем, опал, халцедон и др. Углеродные нанотрубки способствуют ингибированию щелочно-силикатной реакции между поверхностью реакционного заполнителя и щелочами гидратированного цемента. При этом повышается долговечность материала [5].

Известно, что углеродные нанотрубки и нановолокна могут обладать высокой электропроводящей способностью [2]. Таким образом, дисперсное армирование матрицы углеродными нанотрубками позволит повысить электропроводность бетонов, и в случае появления каких-либо дефектов структуры под воздействием прикладываемой нагрузки будет происходить изменение электропроводности. Выше отмеченное физическое явление может быть положено в основу создания нового неразрушающего способа контроля качества изделий из бетона и

железобетона. При этом диагностика состояния конструкции может производиться в течение всего срока эксплуатации, без непосредственного участия человека и в труднодоступных местах.

Для понимания физико-химических процессов протекающих при гидратации цементных систем в присутствии УНТ использованы методы квантово-химического моделирования, позволяющие рассматривать процессы структурообразования на наноуровне.

### ***Литература***

- [1]. Гусев Б.В. Проблемы создания наноматериалов и развития нанотехнологий в строительстве // Нанотехнологии в строительстве: научный Интернет-журнал. М.: ЦНТ «НаноСтроительство». 2009. № 2. С. 5–10.
- [2]. Раков Э.Г. Химия и применение углеродных нанотрубок // Успехи химии. – 2001. № 10. с. 934-937.
- [3]. Nanotechnology in Concrete / Sanchez F. and Sobolev K. // Construction and building materials, Vol. 24, No. 11, 2010. P. 2060-2071.
- [4]. «Опыт применения тубулярных углеродных наноструктур в строительных материалах» / Петрунин С.Ю., Попов М.Ю. и др. // Нанотехнологии в строительстве: научный Интернет-журнал. М.: ЦНТ «НаноСтроительство». – 2012. – № 5. – С. 65-80. URL: <http://www.nanobuild.ru>,
- [5]. «Легкие бетоны на основе пеностекла, модифицированные наноструктурами» / Попов М.Ю., Петрунин С.Ю. и др. // Нанотехнологии в строительстве: научный Интернет-журнал. М.: ЦНТ «НаноСтроительство». 2012. – № 6. – С. 41-56. URL: <http://www.nanobuild.ru>

# **СОЗДАНИЕ МОДИФИЦИРОВАННЫХ УГЛЕРОДНЫМИ НАНОМАТЕРИАЛАМИ ИЗНОСОСТОЙКИХ КЕРАМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ НА АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВАХ**

Комаров А.И.

*Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси*

*Минск, ул.Академическая, 12*

Метод микродугового оксидирования позволяет формировать на поверхности сплавов алюминия керамическое покрытие, обладающее высокими физико-механическими характеристиками и износостойкостью. Вместе с тем, традиционные технологические решения не всегда обеспечивают получение покрытий с требуемым уровнем свойств на некоторых типах алюминиевых сплавов, в частности силуминах и сплавах с высоким содержанием магния. Кроме того, процесс получения покрытий в традиционно используемых электролитах является достаточно продолжительным.

В докладе представлены результаты по использованию углеродных наноматериалов (УНМ) в процессе получения покрытий на сплавах алюминия. В качестве таких материалов применялась алмазосодержащая шихта. Показано, что добавка УНМ в электролит для микродугового оксидирования алюминия и его сплавов увеличивает скорость формирования керамического слоя и его толщину, которая, по сравнению с базовым электролитом, в зависимости от состава сплавов возрастает в 1,5–2,8 раза, достигая 180–220 мкм. Это позволяет существенно сократить продолжительность процесса формирования покрытий. Модифицированные углеродными наночастицами керамические покрытия характеризуются более дисперсной однородной структурой с меньшей пористостью и имеют повышенные физико-

механические и триботехнические свойства. Так, микротвердость модифицированных керамических покрытий, сформированных на сплаве Д16, достигает 25 ГПа. На сплавах системы Al-Mg, широко используемых в космической и авиационной технике, получены покрытия с уровнем микротвердости до 20 ГПа (сплав АМг6), что значительно (в 1,5–1,7 раз) превосходит этот показатель для немодифицированного покрытия.

Модифицирование покрытий углеродными наноматериалами, а также повышенное содержание в них корунда  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  приводит к снижению коэффициента граничного трения в 1,2–1,5 раза по сравнению с покрытием, полученным в базовом электролите при одновременном повышении его износостойкости в 5,5–6 раз.

## **МОДИФИЦИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННОГО АВТОКЛАВНОГО ЯЧЕИСТОГО БЕТОНА УГЛЕРОДНЫМИ НАНОМАТЕРИАЛАМИ**

Колпащиков В.Л.<sup>1</sup>, Мечай А.А.<sup>2</sup>, Мисник М.П.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Институт тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова НАН Беларуси,  
Минск, ул. П. Бровки, 15*

<sup>2</sup>*Белорусский Государственный технологический университет,  
Минск, ул. Свердлова 13а*

В настоящее время перспективы использования углеродных наноматериалов в промышленности строительных материалов вызывают огромный интерес. Это объясняется тем, что углеродные наноматериалы в весьма малых концентрациях способствуют улучшению физико-механических характеристик строительных материалов.

В данной работе рассмотрены возможности использования углеродных нанотрубок в производстве автоклавного ячеистого бетона пониженной плотности. Исследованы различные варианты ввода углеродных нанотрубок в ячеистобетонную смесь. Установлена возможность формирования плотной мелкокристаллической структуры межпоровых перегородок при использовании углеродных нанотрубок в качестве центров направленной кристаллизации. Коэффициент конструктивного качества наномодифицированного ячеистого бетона с плотностью  $300 \text{ кг/м}^3$  превышает уровень обычного образца в 1,5–1,9 раза, что является предпосылкой для энерго- и ресурсосбережения в производстве данного материала и его применении в строительстве.

## **БИОБЕЗОПАСНОСТЬ УГЛЕРОДНЫХ НАНОМАТЕРИАЛОВ. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ. НОРМАТИВНЫЕ ДОКУМЕНТЫ**

Гункевич А.А., Филатов С.А., Ахремкова Г.С., Дрозд Е.С.

*Институт тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова НАН Беларуси,*

*Минск, ул. П. Бровки, 15*

Применение углеродных наноматериалов открывает широкие перспективы в целенаправленном получении материалов с высокой механической прочностью, особыми спектральными, электрическими, магнитными и химическими свойствами. Такие материалы уже находят применение в микроэлектронике, энергетике, строительстве, химической промышленности, научных исследованиях. Учитывая, рост использования углеродных наноматериалов и увеличение их контакта с человеком и другими биологическими объектами необходимо осуществить всестороннее исследование вопросов потенциальных рисков их использования [1-5].

Физико-химические механизмы взаимодействия углеродных наноматериалов с биообъектами определяются увеличением химического потенциала веществ на межфазной границе с высокой кривизной, на которой изменение топологии связи атомов на поверхности приводит к изменению их химических потенциалов, вследствие чего изменяется растворимость, реакционная и каталитическая способность наночастиц и их компонентов. Высокая удельная поверхность углеродных наноматериалов увеличивает их адсорбционную способность, химическую реакционную способность и каталитические свойства. Это может приводить, в частности, к увеличению продукции свободных радикалов и активных форм кислорода и к повреждению биологических структур. Небольшие размеры углеродных наночастиц позволяют им проникать в клеточные органеллы и, тем самым, изменять функции биоструктур. Развитая поверхность наночастиц позволяет им поглощать на единицу массы во много раз больше адсорбируемых веществ, чем макроскопические дисперсии, вследствие чего возможна, адсорбция на наночастицах различных контаминантов и облегчение их транспорта внутрь клетки. Процессы переноса наночастиц в окружающей среде с воздушными и водными потоками, их накопление в почве, воде отличаются от процессов, характерных для макрочастиц. Современные данные говорят о том что углеродные наночастицы не подвергаются биотрансформации что приводит к накоплению наноматериалов в растительных, животных организмах, а также микроорганизмах, передаче по пищевой цепи.

Необходимо проведение мероприятий по контролю и ограничению воздействий углеродных наноматериалов, включающее ограничение видов использования наноразмерных материалов, требования в использовании персонального защитного оборудования и средств индивидуальной защиты, ограничение выбросов в окружающую среду, а также требования по проведению испытаний для получения данных о

возможном вредном воздействии на живые организмы и окружающую среду.

#### ***Литература***

- [1]. Основы государственной политики в области обеспечения химической и биологической безопасности Российской Федерации на период до 2010 года и дальнейшую перспективу (утверждено Президентом Российской Федерации 4 декабря 2003 года N ПР-2194).
- [2]. Постановление Главного государственного санитарного врача Российской Федерации N 54 от 23.07.2007 г. "О надзоре за продукцией, полученной с использованием нанотехнологий и содержащей наноматериалы".
- [3]. Оценка безопасности наноматериалов: Методические рекомендации, М.,: ФГУЗ "Федеральный центр гигиены и эпидемиологии" Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2007.
- [4]. Технический отчет ISO/DTR 13121 "Нанотехнологии - процесс оценки риска, создаваемого наноматериалом"
- [5]. Технический отчет ISO/DTS 11888 "Нанотехнологии - характеристика многостенных углеродных нанотрубок - факторы мезоскопии формы"

## **МОДИФИЦИРОВАННЫЕ УГЛЕРОДНЫЕ СОРБЕНТЫ МЕДИЦИНСКОГО И ВЕТЕРИНАРНОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

Пьянова Л.Г., Лихолобов В.А., Седанова А.В.

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки*

*Институт проблем переработки углеводородов Сибирского отделения*

*Российской академии наук, Россия, г. Омск*

Экологическое неблагополучие окружающей среды, различные заболевания, приводящие к накоплению в организме человека токсических веществ, потребовали нового подхода к решению проблемы сохранения внутренней среды, так как в данной ситуации медикаментозная терапия стала малоэффективной. Данная проблема решена применением в медицинской практике методов сорбционной детоксикации организма (гемосорбция, энтеросорбция, вульнеросорбция и др.) с применением сорбционных материалов.

Для сорбции токсических веществ различной молекулярной массы и природы особый интерес представляют углеродные сорбенты, отвечающие требованиям медицины.

Известно, что ряд заболеваний (онкологические, инфекционные, аутоиммунные и др.) связаны с накоплением патологических веществ белковой природы. Для их эффективного лечения используют гемосорбцию с применением сорбентов специфического действия. Это связано с тем, что патологические вещества белковой природы (белоксвязанные метаболиты и токсины; аномальные белки; белковые метаболиты патогенной микрофлоры; некоторые антигены, содержащие белковую оболочку и др.) имеют сложную структуру и форму, большие размеры. Для их выведения из биологических жидкостей требуются сорбционные материалы, образующие комплементарные связи, обуславливающих их специфическое действие с высокой степенью селективности.

Одно из широко используемых направлений регулирования адсорбционных свойств сорбентов для придания им специфических свойств - химическое модифицирование поверхности. Существует несколько основных принципов химического модифицирования [1]:

- создание на поверхности матриц химически связанных функциональных групп (карбоксильные, эфирные и др.), способных к взаимодействию с различными биологически активными веществами (аминокислотами, ферментами, антителами и др.);

- введение в матрицу азота, серы и других гетероатомов;

- нанесение на поверхность матрицы полимерной пленки, имеющей в своем составе функциональные группы, подходящие для связывания биолигандов.

В докладе приводятся результаты по синтезу, исследованию свойств и применению модифицированных углеродных гемо- и энтеросорбентов медицинского и ветеринарного назначения, разрабатываемых на базе

Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем переработки углеводородов Сибирского отделения Российской академии наук под руководством д.х.н., профессора, член-корреспондента РАН Лихолобова В.А. [2].

Предложенные способы модифицирования используются впервые применительно к углеродным гемо- и энтеросорбентам. Выбранные направления модифицирования углеродной поверхности позволяют получить широкий спектр эффективных специфических углеродных материалов медицинского и ветеринарного назначения нового поколения.

#### ***Литература***

- [1]. Химия привитых поверхностных соединений / Под ред. Г.В Лисичкина. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. 592 с.
- [2]. В.Ф. Суровикин, Л.Г. Пьянова, Л.С. Лузянина, Рос хим. Ж. (Ж. Рос. Хим. Об-ва им. Д.М. Менделеева). Т. LI. №5 (2007) 159.

## **ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ НАНОУГЛЕРОДА ДЛЯ ММ- И СУБММ- ДИАПАЗОНА ЧАСТОТ**

**Кужир П.П., Максименко С.А., Шуба М.В.**

*НИУ "Институт ядерных проблем" Белгосуниверситета,  
ул. Бобруйская 11, 220030 Минск, Беларусь*

Дан обзор выполняемых в НИИ ЯП БГУ исследований по созданию функциональных электромагнитных материалов для гигагерцового и терагерцового диапазонов частот. Представлены эксперименты по наблюдению антенных свойств углеродных нанотрубок (УНТ) в терагерцовом диапазоне и показано как этот эффект может быть использован для создания функциональных материалов с перестраиваемой по частоте полосой поглощения. Представлено

технологическое решение создания калиброванных по длине коротких (до 1 микрона длиной) УНТ. В дальней инфракрасной и терагерцовой областях частот рассмотрен электромагнитный отклик многостенных нанотрубок конечной длины. Показано, что сильное деполяризующее поле внешних слоев УНТ экранирует внутренние слои. Эффект экранировки предложено использовать в соединительных линиях на основе многостенных нанотрубок. Проведено экспериментальное исследование электромагнитного отклика полимерных композитов на основе коммерчески доступных однослойных и многослойных УНТ и аморфного углерода в X (8-12 ГГц), Ka (26-37 ГГц) и W (78-118 ГГц) частотных диапазонах. Проведено восстановление диэлектрической проницаемости композитов по данным рассеяния. Установлено, что 0.5% УНТ в эпоксидной смоле, широко используемой в авионике, обеспечивают высокую степень электромагнитной экранировки (70-75%).

Проводится сравнительный анализ эффективности электромагнитной (ЭМ) экранировки в микроволновом диапазоне, обеспечиваемой ультратонкими (до нескольких десятков нанометров) пленками пиролитического углерода на кремниевой подложке, пленочными структурами типа сэндвич (два, три монослоя графена, разделенные полимером, – полиметилметакрилатом, ПММА), углеродными пенами (пористость 85-99%), и полимерными композиционными материалами с наноразмерными углеродными наполнителями (УНТ, графитовые нанопластинки, аморфный углерод различной площади поверхности, терморасширенный графит, углерод луковичной структуры). Представлены первые результаты экспериментального исследования электромагнитного отклика ультратонких (в тысячи раз тоньше, чем длина ЭМ волны и в тысячи раз уже скин-слоя) пленок пиролитического углерода, предпринятые в НИИ ЯП БГУ в начале 2013г. Установлено, что наноуглеродная пленка толщиной 20-25 нм (при скин-слое 15

микрон) оказывается способной поглощать 30% мощности ЭМ излучения сантиметрового диапазона.

Получены первые результаты исследования возможностей модифицирования фосфатных керамик микроразмерными соединениями бора и УНТ. Установлено, что усовершенствованная методика введения бор-содержащих компонентов в алюмо-фосфатную матрицу позволяет доводить концентрацию ядер бора до  $2,243 \cdot 10^{22}/\text{см}^{-2}$ , что значительно (в 20-30 раз) больше максимально возможных концентраций ядер бора, достижимых в традиционно используемых для целей защиты от нейтронов материалах (борированный полиэтилен). Комбинирование наполнителей – микроструктурных соединений бора и УНТ – обеспечит эффективную защиту от ионизирующих излучения наряду с высокой электро- и теплопроводностью получаемых композитов. Модифицирование фосфатов 2 масс. % УНТ приводит к скачку проводимости на 13 порядков.

## **ПЕРСПЕКТИВНЫЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ НАКОПИТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ НА ОСНОВЕ НАНОРАЗМЕРНЫХ УГЛЕРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Новиков В.П.

*Научно- практический центр НАН Беларуси по материаловедению,  
Минск, ул. П. Бровки, 19*

Суперконденсаторы (СК) представляют собой электрохимические накопители энергии сочетающие в себе характеристики как конденсатора, так и аккумулятора. Электроды СК состоят из пористых, электропроводных материалов с высокой удельной поверхностью пропитанных электролитом. Накопление энергии в СК происходит за счет обратимого перераспределения зарядов в двойном электрическом

слое на границе электролит/электрод под действием приложенного электрического потенциала. В большинстве случаев материалом для изготовления электродов СК являются наноструктурированный углерод.

Перспективы коммерческого использования СК в транспорте, электронике, и в системах резервного накопления энергии зависит от ряда характеристик СК, а именно: удельной накопленной энергии, КПД устройства, удельной мощности, рабочего диапазона температур, максимального числа циклов перезарядки, стоимости устройства по отношению к накопленной энергии. До сих пор характеристики СК не в полной мере удовлетворяют требованиям потребителей.

Нами предприняты попытки повысить характеристики СК за счет модификации углеродной компоненты электродного материала. Повышение удельных характеристик достигнуто за счет:

- синтеза и использовании в электродах новых наноструктурированных углеродных материалов, таких как графеноподобный углерод, углеродные каркасы, углеродные нанотрубки;
- оптимизации пористой структуры электродного материала за счет создания композитов на основе нескольких форм наноструктурированного углерода;
- функционализации поверхности углеродного материала химическими группами или наночастицами, способными к окислительно-восстановительным реакциям;
- введения в состав электродной композиции проводящих полимеров с электроактивными группами.

## **НОВЫЕ ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ГРАФИТА В ПРОИЗВОДСТВЕ ПЛАСТИЧНЫХ СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Ивахник А.В.<sup>1</sup>, Жорник В.И.<sup>2</sup>, Чижик С.А.<sup>1</sup>, Ивахник В.П.<sup>1</sup>,  
Бухтилова М.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Институт тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова НАН Беларуси,  
Минск, ул. П. Бровки, 15*

<sup>2</sup>*Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси,  
Минск, ул. Академическая, 12*

Изучены следующие пути повышения эффективности применения обычных и с расширенными структурами графитов.

1. Создание композиционных дисперсных фаз, состоящих из частиц мелкодисперсного графита и матрицы в виде жидкокристаллической структуры традиционной дисперсной фазы пластичных смазок. Дано обоснование, что композиты могут быть созданы при переходе от обычных (простых) дисперсных фаз присущих, например, Литолу-24 и Солидолам, к комплексным литиевым дисперсным фазам типа ИТМОЛ 150 и смешанным дисперсным фазам на литиево-кальциевых солях типа ИТМОЛ ЛК. Композиционные дисперсные фазы исключают агломерирование графита, повышают коллоидную стабильность системы, уменьшают разрушение дисперсной фазы антифрикционными добавками графита.

2. Использование графитов после интеркалирования и расширения его первичной и вторичной структур. В первом случае повышаются триботехнические характеристики графита, приближаясь к таковым для дисульфида молибдена. Нами были получены образцы смазок с различными добавками: графит С-2, дисульфид молибдена и терморасширенный графит. По результатам исследования видно, что

противозадирные показатели терморасширенного графита превышают показатели графита С-2 и сравнимы с показателями дисульфида молибдена.

Во втором случае после расширения вторичной структуры графита коренным образом меняются реологические характеристики графита. Используя графит с расширенной вторичной структурой, например, терморасширенный графит, могут быть получены пластичные смазки с новыми более высокими эксплуатационными параметрами.

2.1. Особо термостойкие смазки с температурой эксплуатации до 600°C. Область их применения – металлургия, печное производство, спецтехника.

2.2. Радиационно-стойкие пластичные смазки для оборудования ядерной энергетики. В сочетании с термостойкостью эти смазки должны быть вне конкуренции.

2.3. Смазки для создания термостойких плакирующих покрытий, состоящих из углерода и компонентов адсорбционного слоя зоны трения.

Приведены результаты создания бинарных дисперсных фаз, состоящих из высокомолекулярных солей щелочных металлов и терморасширенного графита, введенного в реактор на стадии синтеза матрицы. Микроструктура новой бинарной дисперсной фазы детально изучена с помощью электронного сканирующего микроскопа.

## **ФУЛЛЕРЕНСОДЕРЖАЩИЕ ПОКРЫТИЯ В ПАРАХ ТРЕНИЯ**

Шпилевский Э.М.

*Институт тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова НАН Беларуси,  
Минск, ул. П. Бровки, 15*

Исследованы триботехнические свойства легированных фуллеренами покрытий на основе металлов (Ti, Ni) и оксидо-керамики ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). Легирование покрытий осуществлялось разными методами: испарением и совместной конденсацией в вакууме, электролитическим осаждением (ультразвуковое смешение раствора  $\text{C}_{60}$  в толуоле с электролитом, введение водорастворимый  $\text{C}_{60}(\text{OH})_{24}$  в электролит), методом полива или пропитки раствором  $\text{C}_{60}$  в толуоле.

Показано, что покрытия никель-фуллерен и титан-фуллерен имеют низкий коэффициент трения, нелинейно зависящий от концентрации и достаточно высокую адгезионную прочность к исходным металлам и стеклу. Так, для покрытий Ti- $\text{C}_{60}$  коэффициенты трения (при скорости скольжения  $0,12 \text{ мс}^{-1}$  и нагрузке на острие равной  $5,0 \cdot 10^6 \text{ Нм}^2$ ) на стеклянной подложке составили 0,16-0,17, на титановой подложке – 0,11-0,12, а адгезионная прочность покрытий титан-фуллерен на этих подложках равна 0,62 ГПа и 0,84 ГПа, соответственно. Предел прочности покрытий составляет 8,9 ГПа, а модуль Юнга – 91 ГПа [1].

Высокая прочность этих покрытий объясняется двумя причинами: а) наноразмерной структурой, б) образованием химического соединения  $\text{Ti}_x\text{O}_y\text{C}_{60}$ . Высокие прочностные и триботехнические характеристики покрытий Ti- $\text{C}_{60}$  и Ni- $\text{C}_{60}$  обеспечивают их преимущество в сравнении с чистыми слоями титана, никеля и фуллерита. Для покрытий из чистого фуллерита при повышенных нагрузках режим скольжения переходит в резание.

Включение фуллеренов в керамику с концентрацией  $0,15 \text{ мг/см}^2$  сопровождается уменьшением коэффициента трения в паре керамика-сталь в 1,5 раза, износа стали - в 8 раз и существенной интенсификацией стадии приработки. Наблюдается также значительное снижение износа стали (примерно в 8 раз при концентрации  $\text{C}_{60}$   $0,15 \text{ мг/см}^2$  и в 3 раза - для  $0,45 \text{ мг/см}^2$ ). При этом среднее значение интенсивности изнашивания на установившейся стадии в первом случае составляет  $I=2,0 \cdot 10^{-5} \text{ мг/м}$ , во втором –  $3,7 \cdot 10^{-5} \text{ мг/м}$ . Следует при этом заметить, что при исследованных режимах испытаний износ оксидокерамики не зарегистрирован [2].

Низкие значения коэффициентов трения объясняются возможной сменой механизма трения. Фуллерены вследствие замкнутости всех  $\sigma$ -связей могут проявлять свойства молекулярного подшипника. Сравнение прочностных характеристик покрытий с прочностными характеристиками человеческой кости (прочность на растяжение 120 – 175 МПа, а модуль Юнга 17 -27 МПа), а также с характеристиками ряда керамических биоматериалов указывает на возможность использования  $\text{Ti-C}_{60}$  покрытий при изготовлении эндопротезов. Апробация покрытий на конкретных изделиях показала: для  $\text{Ni-C}_{60}$  увеличение ресурса работы диска алмазного режущего на 20-25% (КБТМ-ОМО), а для покрытия  $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-C}_{60}$  пуансона пресс-формы пластмассовых изделий – в 14 раз (МЗХ «Атлант»).

#### *Литература*

- [1]. Витязь П.А., Шпилевский Э.М., Шпилевский М.Э., Нанотехнологии: наука и производство. 2009, №2. С.12-16.
- [2]. Витязь П.А., Шпилевский Э.М., Комарова В.И., Комаров А.И., Жорник В.И. Структура и трибологические свойства модифицированной фуллеренами оксидокерамики. //Фуллерены и фуллереноподобные структуры. Минск: ИТМО им. А.В. Лыкова НАН Беларуси, 2005.- С 15-21.

## СОДЕРЖАНИЕ

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Научная программа семинара .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 3  |
| <i>Левченко Л.М.</i> Нанопористые модифицированные углеродные материалы в сорбционных и каталитических процессах.....                                                                                                                                                                                                             | 12 |
| <i>Ведягин А.А., Мишаков И.В., Носков А.С., Пармон В.Н.</i> Синтез и характеристика углеродных волокнистых наноматериалов различного морфологического типа .....                                                                                                                                                                  | 14 |
| <i>Филатов С.А., Гункевич А.В.</i> О действующих на территории таможенного союза ТУ и ГОСТах на наноматериалы .....                                                                                                                                                                                                               | 16 |
| <i>Кузнецов В.Л.</i> Синтез и характеристика углеродных нанотрубок.....                                                                                                                                                                                                                                                           | 19 |
| <i>Елецкий П.М., Яковлев В.А., Пармон В.Н.</i> Углеродные материалы из высокозольной биомассы: получение и характеристика .....                                                                                                                                                                                                   | 21 |
| <i>Лебедева М.В., Кузнецов А.Н., Елецкий П.М., Яковлев В.А., Пармон В.Н.</i> Исследование микро-мезопористых углеродных материалов в качестве электродов конденсаторов с двойным электрическим слоем .....                                                                                                                        | 23 |
| <i>Ахремкова Г.С., Филатов С.А., Гункевич А.В.</i> Измерение эффективной поверхности углеродных наноматериалов .....                                                                                                                                                                                                              | 25 |
| <i>Филатов С.А., Батырев Е.В., Кучинский Г.С., Гункевич А.В.</i> Метрологические основы характеристики наноматериалов. Стандартизация измерений .....                                                                                                                                                                             | 27 |
| <i>Мосеенков С.И., Кузнецов В.Л., Ищенко А.В., Ларина Т.В., Романенко А.И., Ткачев Е.Н., Максименко С.А., Кужир П.П., Образцова Е.Д., Бокова С.Н., Суляев В.И.</i> Исследование взаимосвязей строения наноуглеродных материалов (углерода луковичной структуры и многослойных нанотрубок) с их электрофизическими свойствами..... | 29 |
| <i>Батырев Е.В., Кучинский Г.С., Филатов С.А.</i> Спектральные оптические методы исследования наноматериалов .....                                                                                                                                                                                                                | 31 |
| <i>Данилова-Третьяк С.М., Евсеева Л.Е., Танаева С.А.</i> Теплофизические свойства углеродных наноматериалов и полимерных нанокомпозитов в широком диапазоне температур .....                                                                                                                                                      | 34 |
| <i>Доброго К.В., Козначеев И.А., Брич М.А.</i> Термогравиметрия в характеристике дисперсных углеродных наноматериалов .....                                                                                                                                                                                                       | 35 |
| <i>Карпович В.А.</i> Характеристика дисперсного углеродного наноматериала по поглощению СВЧ излучения .....                                                                                                                                                                                                                       | 37 |
| <i>Худолей А.Л.</i> Характеристика структуры материала методом атомно-силовой микроскопии .....                                                                                                                                                                                                                                   | 40 |
| <i>Дрозд Е.С.</i> Углеродные наноструктуры как зонды и объекты исследования для атомно-силовой микроскопии .....                                                                                                                                                                                                                  | 41 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                   |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <i>Ваганов В.Е., Решетняк В.В., Евдокимов И.А., Пивоваров Г.И. Теоретическое и экспериментальное исследование металломатричных композиционных материалов на основе наноуглерода.....</i>                                                                          | <i>42</i> |
| <i>Митькин В.Н., Левченко Л.М. Углерод-фторуглеродные гибридные нанокompозитные материалы для устройств хранения и преобразования энергии.....</i>                                                                                                                | <i>45</i> |
| <i>Мансурова И.А., Фомин С.В., Ваганов В.Е., Копалина О.Ю. Модификация наполнителей эластомерных композиций углеродными нанокompонентами .....</i>                                                                                                                | <i>47</i> |
| <i>Бауман Ю.И., Руднев А.В., Лысакова А.С., Ворошилов В.А., Мишаков И.В., Ведягин А.А., Шубин Ю.В., Селютин Г.Е., Буянов Р.А. Синтез и применение разупорядоченных углеродных наноструктур .....</i>                                                              | <i>49</i> |
| <i>Ваганов В.Е., Решетняк В.В., Нефедова Е.В., Ломакин С.М. Применение углеродных нанотрубок для создания полимерных композиционных материалов пониженной горючести.....</i>                                                                                      | <i>51</i> |
| <i>Филатов С.А., Батырев Е.В., Кучинский Г.С., Александронец А.С. Функционализация углеродных наноматериалов для промышленного применения .....</i>                                                                                                               | <i>54</i> |
| <i>Лабунев В.А. Углеродные наноматериалы в электронике .....</i>                                                                                                                                                                                                  | <i>56</i> |
| <i>Каманина Н.В., Васильев П.Я., Студёнов В.И. Углеродные наноструктуры в оптике .....</i>                                                                                                                                                                        | <i>58</i> |
| <i>Бейлина Н.Ю. Продукты переработки природного сланца. исследования и перспективы применения в производстве конструкционных и функциональных углеродных материалов .....</i>                                                                                     | <i>60</i> |
| <i>Ваганов В.Е., Петрунин С.Ю., Попов М.Ю., Решетняк В.В. Композиционные строительные материалы на основе цементных вяжущих и углеродных нанотрубок, обладающих повышенными физико-механическими, эксплуатационными и новыми функциональными свойствами .....</i> | <i>62</i> |
| <i>Комаров А.И. Создание модифицированных углеродными наноматериалами износостойких керамических покрытий на алюминии .....</i>                                                                                                                                   | <i>65</i> |
| <i>Колпащиков В.Л., Мечай А.А., Мисник М.П. Модифицирование структуры теплоизоляционного автоклавного ячеистого бетона углеродными наноматериалами.....</i>                                                                                                       | <i>66</i> |
| <i>Гункевич А.А., Филатов С.А., Ахремкова Г.С., Дрозд Е.С. Биобезопасность углеродных наноматериалов. Физико-химические механизмы. Нормативные документы .....</i>                                                                                                | <i>67</i> |
| <i>Лихолобов В.А., Пьянова Л.Г., Седанова А.В. Модифицированные углеродные сорбенты медицинского и ветеринарного назначения.....</i>                                                                                                                              | <i>69</i> |

|                                                                                                                                                                     |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <i>Кужир П.П., Максименко С.А., Шуба М.В. Функциональные электромагнитные материалы на основе нанокремнезема для мм- и субмм-диапазона частот .....</i>             | <i>71</i> |
| <i>Новиков В.П. Перспективные системы для накопителей энергии на основе наноразмерных углеродных материалов .....</i>                                               | <i>73</i> |
| <i>Ивахник А.В., Жорник В.И., Чижик С.А., Ивахник В.П., Бухтилова М.А. Новые перспективы применения графита в производстве пластичных смазочных материалов.....</i> | <i>75</i> |
| <i>Шилевский Э.М. Фуллеренсодержащие покрытия в парах трения.....</i>                                                                                               | <i>77</i> |

**Белорусско-Российский семинар**

**УГЛЕРОДНЫЕ НАНОМАТЕРИАЛЫ:  
ХАРАКТЕРИЗАЦИЯ И ПРИМЕНЕНИЕ**

Минск, 23-25 апреля 2013 г.

**ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ**

Ответственный за выпуск:

к.х.н., доцент Ведягин А.А.

Подписано в печать 18.04.2013. Заказ №22.

Формат 60х84/16. Усл. печ. л. 5,5. Тираж 60 экз.

Отпечатано в Издательском отделе Института катализа СО РАН  
630090, Новосибирск, пр-т Академика Лаврентьева, 5

<http://www.catalysis.ru/>