

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ УЧЕБНО-НАУЧНОЙ ЛАБОРАТОРИИ НАНОТЕХНОЛОГИЙ В РЕШЕНИИ АКТУАЛЬНЫХ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАДАЧ МЧС РОССИИ

**Л.В. Медведева, доктор педагогических наук, профессор.  
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Приведено описание технических возможностей учебно-научной лаборатории нанотехнологий и основных существующих и перспективных направлений научно-практических исследований с использованием нанотехнологий.

*Ключевые слова:* микромир, СЗМ-микроскопия, АСМ-микроскопия, конфокальная и флуоресцентная спектроскопии, рамановская спектроскопия

## USE OF TECHNICAL CAPABILITIES EDUCATIONAL AND SCIENTIFIC LABORATORY NANOTECHNOLOGY IN SOLVING ACTUAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL TASK OF EMERCOM OF RUSSIA

L.V. Medvedeva.

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

This article describes the technical capabilities of teaching and research laboratory of nanotechnology and the main existing and emerging areas of scientific and practical research using nanotechnology.

*Keywords:* microcosm, SPM-microscopy, AFM-microscopy, confocal and fluorescence spectroscopy, Raman spectroscopy

Основой методологии постановки научно-исследовательских работ является системный подход, предусматривающий различные этапы работ, среди которых дипломные работы слушателей, диссертационные исследования соискателей и адъюнктов, плановые научно-исследовательские работы профессорско-преподавательского состава кафедр Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России. На каждом этапе ставятся и решаются различные по сложности и результативности задачи, комплексное обобщение которых позволяет разрабатывать и внедрять в практику экспертных организаций новые методики и вовлекать в эту сферу новейшие достижения аналитического приборостроения и современную компьютерную и программную базу, в том числе и методики сканирующей зондовой микроскопии (СЗМ) в учебно-научной лаборатории нанотехнологий кафедры физики и теплотехники, введенной в эксплуатацию к 105-летию Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России.

Учебно-научная лаборатория нанотехнологий включает в себя три основных участка:  
– учебно-экспериментальный;  
– контрольно-измерительный (экспертный);  
– технологический.

Каждый участок выполняет специфические функции и имеет собственное техническое оснащение.

Задачей учебно-экспериментального участка является проведение экспериментальных и виртуальных исследований физических процессов микромира.

Учебно-экспериментальный участок оснащен модульными учебными комплексами (МУК-ОК), каждый из которых позволяет проводить комплекс лабораторных исследований различных явлений микромира. Для проведения виртуальных исследований автономно установлено специальное программное обеспечение. Информационной поддержкой и модульными учебными комплексами оборудованы шесть рабочих мест.

Задачей контрольно-измерительного (экспертного) участка является освоение основ работы в режимах СЗМ, приобретение навыков исследования нанообъектов и наноструктур, проведение зондовой нанолитографии и наноманипуляций.

Контрольно-измерительный (экспертный) участок оснащен специальной установкой для заточки (травления) зондов и тремя учебными сканирующими зондовыми микроскопами (NanoEducator-2).

Измерительная система учебного сканирующего зондового микроскопа (NanoEducator-2) имеет встроенную цифровую видеокамеру с размером изображения 12,1 мегапиксель для выбора исследуемого участка на поверхности образца и контроля состояния зонда и процесса его подвода к поверхности.

Проведение зондовой нанолитографии и наноманипуляций осуществляется по измерительным методикам атомно-силовой микроскопии (АСМ): «полуконтактный» метод, отображение рельефа, отображение фазы, отображение силы, а также динамической силовой литографии туннельной микроскопии: отображение рельефа, отображение тока (метод постоянной высоты), измерения работы выхода ( $Z$  модуляция), туннельная спектроскопия ( $dI/dV$  измерения).

Задачей технологического участка является выращивание углеродных нанотрубок.

Технологический участок оснащен реактором роста углеродных наноструктурированных материалов с использованием технологии химического осаждения из газовой фазы, что позволяет получать углеродные нанотрубки как в виде материала, так и в составе структур микро- и наносистемной техники.

Контрольно-измерительный (экспертный) и технологический участки совместно могут сформировать полный научно-исследовательский цикл.

В перспективном плане научной деятельности учебно-научной лаборатории нанотехнологий предполагается активное развитие следующих, инновационных для системы МЧС России, направлений научных работ:

– исследование эксплуатационных характеристик строительных материалов, произведенных с применением нанотехнологий (научный руководитель направления – доктор химических наук, профессор Г.К. Ивахнюк);

– разработка методов пожарно-технической экспертизы с использованием СЗМ-микроскопии (научный руководитель направления – доктор технических наук, профессор А.С. Поляков, кандидат технических наук Ю.Н. Бельшина);

– теоретическая и практическая разработка направлений использования углеродных нанотрубок (научный руководитель направления – кандидат технических наук, доцент А.В. Иванов).

Исследования эксплуатационных характеристик строительных материалов, произведенных с применением нанотехнологий, ориентированы на оценку:

– показателей пожарной опасности;

– качества нанопокрытия на поверхности материала;

– качества покрытия тканей и технологических элементов оборудования при воздействии высокой температуры и агрессивных сред;

– качества поверхности сеток огнепреградителей с депонированными защитными материалами;

– возможности использования материалов, произведенных с применением нанотехнологий, в строительстве потенциально опасных объектов;

- эффективности электрофизических методов защиты от коррозии;
- влияния ремонтно-восстановительных смесей на процессы износа конструктивных элементов двигателей внутреннего сгорания при работе в условиях низких температур.

Разработка методов пожарно-технической экспертизы с использованием СЗМ-микроскопии осуществляется по следующим научным направлениям:

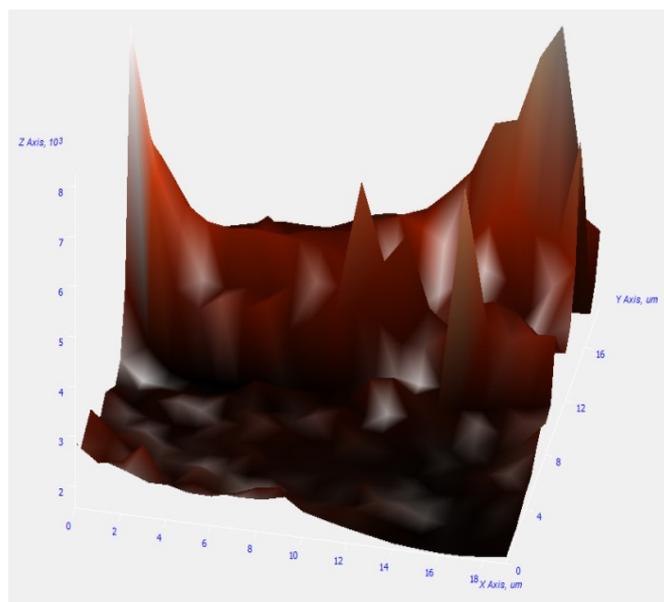
- исследование структуры органических и неорганических материалов спасательного оборудования и снаряжения в условиях воздействия агрессивных сред нефтепродуктов в целях разработки метода раннего обнаружения процессов деструкции материалов спасательного оборудования и снаряжения, находящихся в агрессивной среде;
- исследование поверхностной структуры органических материалов, подвергшихся термическому воздействию, в целях разработки метода определения температуры в зоне горения посредством исследования поверхностной структуры углеродного остатка.

Теоретическая и практическая разработка направлений использования углеродных нанотрубок осуществляется в целях решения актуальных научно-технических задач системы МЧС России:

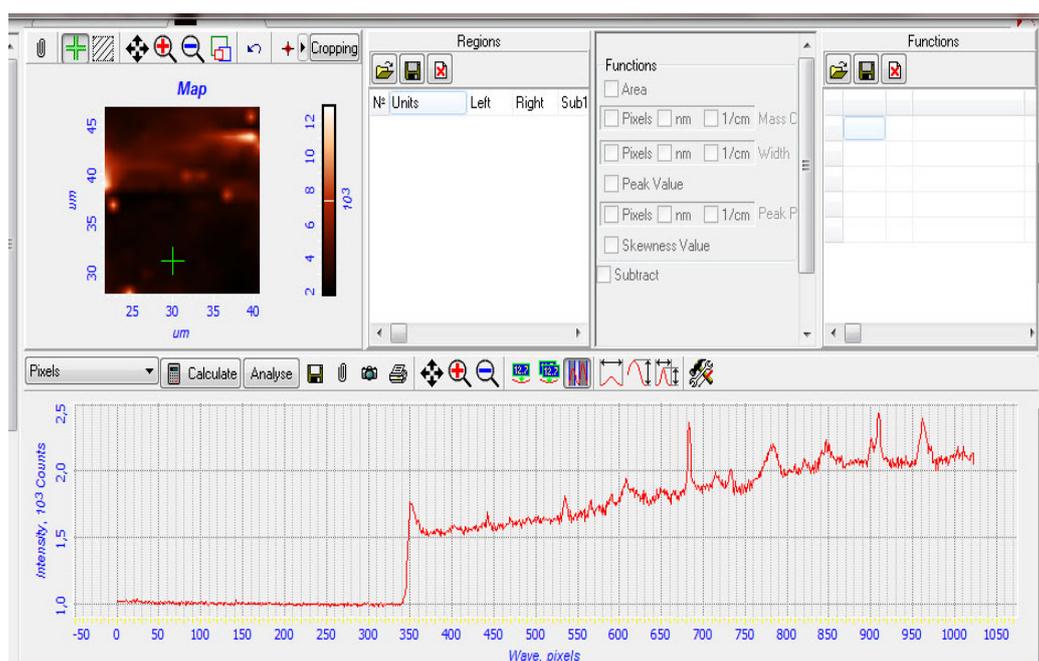
- повышение эффективности процесса тушения пожаров (депонированные порошковые наноразмерные комплексы);
- обеспечение тепловой защиты на объектах нефтегазового комплекса (модифицированные водногелиевые составы);
- повышение эксплуатационных характеристик аккумуляторов для пожарной и спасательной техники;
- снижение пожарной опасности легковоспламеняющихся жидкостей (модификация горючих жидкостей углеродными нанотрубками для повышения температуры вспышки);
- повышение качественных показателей дизельных топлив путем их модификации углеродными нанотрубками;
- повышение электростатической безопасности при транспортировке легковоспламеняющихся жидкостей;
- создание огнетушащих веществ с увеличенным коэффициентом смачиваемости.

В Санкт-Петербургском университете ГПС МЧС России в учебно-научной лаборатории нанотехнологий введена в эксплуатацию нанолаборатория ИНТЕГРА-спектра – первая в мире автономная научная лаборатория, интегрирующая атомно-силовую, конфокальную, флуоресцентную спектроскопии. В настоящее время проводятся исследования по оценке эффективности применения комплекса методов атомно-силовой и рамановской микроскопии при идентификации наноразмерных комплексов взрывчатых веществ и продуктов взрыва. Атомно-силовая микроскопия (АСМ) является одной из видов сканирующей зондовой микроскопии, основанной на взаимодействии зонда микроскопа с поверхностью образца при ван-дер-ваальсовских взаимодействиях. Рамановская спектроскопия представляет собой спектроскопический метод изучения исследуемого вещества, основанный на явлении неупругого рассеяния монохроматического света в видимом, ближнем ультрафиолетовом или инфракрасном диапазонах. Отработка методики исследования компонентов взрывопожарных веществ и материалов проводилась на кафедре физики и теплотехники университета на установке «ИНТЕГРА-спектра», в состав которой входят модули для конфокальной и флуоресцентной микроскопии, интегрированные в установку АСМ.

В ходе исследования объектов с внедренными компонентами пиррофорных соединений были получены 3D-модели рельефа поверхностей по результатам АСМ (рис. 1) и распределения компонентов смесей на основе рамановской спектроскопии (рис. 2).



**Рис. 1. Морфологическая структура поверхности стекла с вкраплениями пиротехнических соединений (результаты атомно-силовой микроскопии)**



**Рис. 2. Распределение компонентов пиротехнического средства на исследуемой поверхности, полученное с помощью рамановской спектроскопии**

Сопоставление полученных данных с библиотекой рамановских спектров позволяет идентифицировать компоненты по уникальной картине распределения пиков рассеивания (рис. 3).

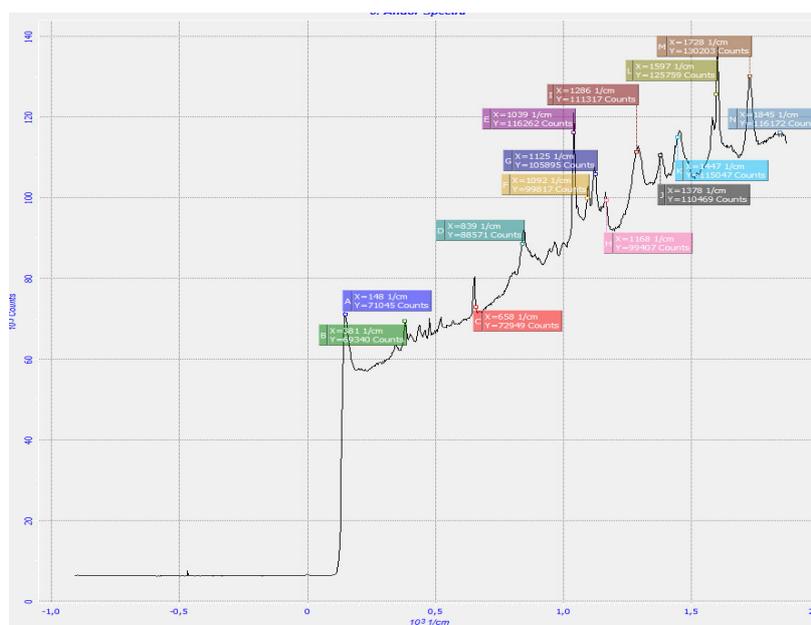


Рис. 3. Анализ рамановского спектра при качественной оценке исследуемого образца

Методы атомно-силовой и рамановской спектроскопии могут быть применены при одновременном анализе структуры исследуемой поверхности и идентификации взрывчатых веществ либо компонентов, из которых они изготовлены. В перспективе данный метод может дополнить существующие методы криминалистической экспертизы и взрывотехнических исследований.

Внедрение нанолaborатории ИНТЕГРА-спектра позволит не только существенно расширить технические возможности экспертной методологии, но и организовать научные исследования в области нанобезопасности – исследования безопасности высокотехнологичной продукции для окружающей среды и здоровья человека. Наноматериалы характеризуются высокой проникающей способностью, химической активностью, что делает их потенциально опасными веществами. Поэтому как потребителям, так и производителям нанопродукции необходимы научные заключения об ее безопасности, что обуславливает выбор сфер внедрения наноматериалов и выход на новые рынки сбыта.

Предполагаемыми результатами исследований в области нанобезопасности могут стать:

- экспериментальное биотестирование наноматериалов;
- разработка методик оценки безопасности наноматериалов;
- разработка и внедрение образовательных программ в области нанобезопасности.

Активное развитие указанных направлений научной деятельности учебно-научной лаборатории нанотехнологий, ее техническое дооснащение позволит создать в университете Экспертный центр СЗМ-микроскопии, в котором в рамках внутренней и внешней научной деятельности будут выполняться экспертные оценки и тестирование эксплуатационных характеристик материалов в твердой и жидкой фазах по заявкам заказчиков.

Вместе с тем для расширения сферы внешней научной деятельности планируется работа в составе Центра коллективного пользования при Администрации Санкт-Петербурга на основе соглашения между Университетом и Центром коллективного пользования для проведения экспериментальных исследований молодых ученых Санкт-Петербурга на уникальном оборудовании с учетом общих интересов.

Одним из приоритетных направлений учебно-научной деятельности лаборатории нанотехнологий является программа подготовки молодых ученых по результатам обучения слушателей старших курсов в рамках научного кружка, а также индивидуальной работы с адъюнктами университета.

В рамках программы подготовки (до 20 ч) по специальности 05.26.02 – «Безопасность в ЧС» (химические науки) с адъюнктами и аспирантами проводятся практические занятия с целью проведения исследований по изучению поведения материалов при воздействии факторов ЧС.

Таким образом, широта научных интересов, высокий профессионализм, большой опыт научно-педагогической деятельности, владение современными методами научных исследований, постоянный поиск оптимальных путей решения современных проблем позволяют коллективу университета преумножать научный и научно-педагогический потенциал вуза, обеспечивать непрерывность и преемственность образовательного процесса.

### **Литература**

1. Жоаким К., Плевер Л. Нанонауки. Невидимая революция. М.: КоЛибри, 2009. 240 с.
2. Яфаров Р.К. Физика СВЧ вакуумно-плазменных нанотехнологий. М.: Физматлит, 2009. 216 с.
3. Третьякова Ю.Д. Нанотехнологии. Азбука для всех. 2-е изд. М.: Физматлит, 2010. 368 с.
4. Бахтизин Р.З., Галлямов Р.Р. Физические основы сканирующей зондовой микроскопии. Уфа: Башк. гос. ун-т, 2003.
5. Шмидт В. Оптическая спектроскопия для химиков и биологов. М.: Техносфера, 2007.
6. Чешко И.Д. Экспертиза пожаров (объекты, методы, методики исследования). 2-е изд. СПб.: С.-Петербург. ин-т пож. безопасн. МВД России, 1997. 562 с.
7. Центр Коллективного пользования. URL: <http://ckpspb.ru> (дата обращения: 10.02.2014).