

УДК 378.001.76

## УЧЕБНО-НАУЧНАЯ ЛАБОРАТОРИЯ НАНОТЕХНОЛОГИЙ САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОГО УНИВЕРСИТЕТА ГПС МЧС РОССИИ: ИСТОРИЯ СОЗДАНИЯ И ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Медведева Л.В.

Представлены история создания и этапы развития учебно-научной лаборатории нанотехнологий в Санкт-Петербургском университете Государственной противопожарной службы МЧС России; цели и задачи организации научно-практических исследований в области нанотехнологий; описание технического оборудования лаборатории нанотехнологий; основные направления и методология выполняемых в настоящее время научно-практических работ, ориентированных на решение практических задач в области обеспечения безопасности и предупреждения чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера. Раскрыты направления развития сферы научной деятельности в области нанотехнологий: подготовка научных кадров, организация взаимодействия университета с научно-исследовательскими институтами и университетами, которые в России и за ее пределами проводят исследования в области физики и технологии микро- и наноструктур, материаловедения, катализа, физики и химии полимеров и т. п. Приведены результаты применения углеродных наноструктур для создания новых технологий профилактики и тушения пожаров.

*Ключевые слова:* микромир, нанотехнологии, учебно-научная лаборатория нанотехнологий, углеродные нанотрубки, наноразмерные компоненты, пожаротушение, сканирующая зондовая микроскопия, зондовая нанолитография, экспертная методология, нанобезопасность.

(Поступила в редакцию 7 марта 2018 г.)

**Введение.** В 2011 году к 105-летию Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России (ГПС МЧС России) создана учебно-научная лаборатория нанотехнологий на базе кафедры физики и теплотехники (в настоящее время – кафедра физико-технических основ обеспечения пожарной безопасности). Основной целью создания учебно-научной лаборатории нанотехнологий являлось расширение сферы научной деятельности университета путем развития нового научно-практического направления – использования нанотехнологий для решения актуальных научно-практических задач МЧС России в области пожарной безопасности и криминалистической экспертизы.

**На первом этапе оснащения** лаборатории техническое оборудование научно-технологического сектора включало в себя:

- специальную установку для заточки (травления) зондов;
- сканирующие зондовые микроскопы (СЗМ) NanoEducator II;
- реактор роста многослойных углеродных нанотрубок CVDomna, в котором для роста нанотрубок используются технологии химического осаждения из газовой фазы.

Измерительная система сканирующего зондового микроскопа NanoEducator II имеет встроенную цифровую видеокамеру с размером изображения 12,1 мегапикселя 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).

СЗМ NanoEducator II предназначен для многофункциональных исследований твердых материалов методами измерений туннельной и «полуконтактной» атомно-силовой микроскопии [13].

Отличительными особенностями NanoEducator II от вышеупомянутых приборов являются:

- простота в обращении;

- отсутствие сложных настроек и юстировок;
- использование видеокамеры для визуального контроля состояния прибора (зонда), который исследует поверхность твердого материала;
- многозадачность, обеспечивающая возможность пользования компьютером одновременно с работой прибора;
- комплектация прибора необходимыми для учебного процесса тест-объектами.

Реактор роста многослойных углеродных нанотрубок CVDomna позволяет на основе метода каталитического пиролиза жидких и газообразных углеродосодержащих смесей синтезировать многослойные углеродные нанотрубки. Предлагаемая методика применима и в научно-исследовательской работе, и в учебном процессе по выращиванию углеродных нанокomпонентов [1].

**На втором этапе оснащения** введена в эксплуатацию нанолаборатория NTEGRA Spectra – первая в мире автономная научная лаборатория, которая является комбинированной измерительной системой, интегрирующей атомно-силовую, конфокальную, флуоресцентную спектроскопии.

Нанолаборатория NTEGRA Spectra как техническая система включает в себя в качестве подсистем конфокальный сканирующий лазерный спектрометр высокого пространственного разрешения, оптический микроскоп и универсальный сканирующий зондовый микроскоп [11].

В состав учебно-научной лаборатории нанотехнологий входят два основных участка, выполняющие специфические функции и имеющие собственное техническое оснащение:

- учебно-экспериментальный, задачей которого является проведение экспериментальных и виртуальных исследований физических процессов микромира, оснащен модульными учебными комплексами (МУК-ОК). Для проведения виртуальных исследований автономно установлено специальное программное обеспечение. Информационной поддержкой и модульными учебными комплексами оборудованы шесть рабочих мест;
- контрольно-измерительный (экспертный, научно-технологический), задача которого – освоение основ работы в режимах СЗМ, приобретение навыков исследования нанообъектов и наноструктур, проведение зондовой нанолитографии и наноманипуляций.

**Основная часть.** С помощью высокоточного оборудования, которым в настоящее время оснащена учебно-научная лаборатория нанотехнологий, научные кадры получили техническую возможность визуализировать, диагностировать и модифицировать пожарно-технические средства с нанометровым уровнем пространственного разрешения, что позволило проводить не только фундаментальные исследования, но и научно-прикладные разработки пожарно-технической продукции на основе нанотехнологий [2–10].

В учебно-научной лаборатории нанотехнологий осуществляется развитие инновационных для системы МЧС России перспективных направлений научно-практических работ, таких как:

- разработка метода идентификации взрывчатых веществ и материалов и инициаторов горения после террористического акта или пожара;
- снижение пожарной опасности процесса транспортировки ЛВЖ путем добавления в жидкость углеродных нанотрубок;
- разработка методики применения огнетушащих составов с регулируемым наноразмерными компонентами для целей пожаротушения в больших температурных диапазонах;
- разработка методов пожарно-технической экспертизы с использованием СЗМ-микроскопии;
- исследования эксплуатационных характеристик материалов, модифицированных углеродными нанокomпонентами, с целью повышения их огнестойкости по оценке:
  - показателей пожарной опасности;
  - качества нанопокрывания на поверхности материала;
  - 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.

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

1) 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;

2) изучение 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 для решения актуальных научно-технических задач системы МЧС Российской Федерации, таких как:

– повышение эффективности процесса тушения пожаров (депонированные порошковые наноразмерные комплексы);

– обеспечение тепловой защиты на объектах нефтегазового комплекса (модифицированные водногелиевые составы);

– 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 настоящее время достигнуты следующие результаты применения углеродных наноструктур для создания новых технологий профилактики и тушения пожаров:

– методы снижения пожарной опасности процессов хранения и транспортировки жидких углеводородов за счет снижения температуры вспышки (до 30 °С), увеличения электропроводности (в 3–15 раз) [4], снижения интенсивности испарения (до 5 раз), а также увеличения времени истечения наномодифицированных жидкостей в сравнении с базовыми ЛВЖ и ГЖ [3, 5, 6];

– повышение эффективности тушения пожаров класса А (твердые горючие материалы) и пожаров класса Б (жидкости) за счет снижения времени тушения пожаров в 2–5 раз, при снижении расхода огнетушащего вещества (ОТВ) в 1,5–2,5 раза в сравнении с традиционно применяющимися ОТВ на основе воды [9];

– повышение эффективности установок тепловой защиты людей и оборудования при пожаре за счет применения модифицированных водногелевых суспензий с пониженной теплопроводностью и температурой кипения 67–80 °С [4];

– разработка огнезащитных покрытий, модифицированных углеродными наноструктурами, с повышенной адгезионной прочностью (до 3,5 раз) и термической стабильностью (до 8 раз) в условиях углеводородного горения [2];

– разработка методов повышения стабильности наножидкостей, обращающихся в пожароопасных технологических процессах и применяющихся при тушении пожаров [8].

Одним из важнейших условий успешной научно-практической деятельности Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России в области нанотехнологий является создание комплекса условий для подготовки высококвалифицированных специалистов. Для оптимального использования имеющихся ресурсов необходимо проведение комплексной диагностики системы подготовки кадров высшей квалификации МЧС России в области нанонауки и нанотехнологий [12].

Представляется, что одним из перспективных путей решения кадровой проблемы в сфере научной деятельности для вузов МЧС России является организация более тесного взаимодействия с научно-исследовательскими институтами, ведущими научно-практическую деятельность в области физики и технологии микро- и наноструктур, материаловедения, катализа, физики и химии полимеров и т. п.

В настоящее время достигнуты соглашения с Санкт-Петербургским институтом ядерной физики им. Б.П. Константинова, в соответствии с которыми реализуются совместные фундаментальные исследования с использованием модифицированной продукции нанотехнологий.

Важным направлением совершенствования подготовки научных кадров вуза является повышение квалификации в сфере применения нового учебно-лабораторного, научного, производственного оборудования и информационных аппаратно-программных средств. Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России расширяет практику научно-

исследовательской деятельности молодых ученых в лаборатории, предназначенной для изобретения веществ и материалов на основе нанотехнологий.

Основой методологии постановки научно-исследовательской деятельности в учебно-научной лаборатории нанотехнологий является системный подход, предусматривающий различные этапы: дипломные работы слушателей, диссертационные исследования соискателей и адъюнктов, плановые научно-исследовательские работы профессорско-преподавательского состава кафедр университета.

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 СЗМ [13].

28 февраля 2014 г. факультетом подготовки и переподготовки научных и научно-педагогических кадров совместно с кафедрой физики и теплотехники (в настоящее время – кафедра физико-технических основ обеспечения пожарной безопасности) был проведен научно-практический семинар «Перспективные направления использования нанотехнологий для решения практических задач при предупреждении и ликвидации последствий ЧС природного и техногенного характера».

С тех пор этот научно-практический семинар проходит регулярно, в том числе и с дистанционным участием как видных, так и молодых исследователей, которые проводят первые самостоятельные научные исследования в области нанотехнологий. Семинар стал одним из основных факторов обеспечения nanoиндустрии кадровым потенциалом и закрепления передовых технологий в области обеспечения пожарной безопасности.

**Заключение.** Создание учебно-научной лаборатории нанотехнологий обусловило развитие нового научно-практического направления решения актуальных научно-практических задач МЧС России в области пожарной безопасности и криминалистической экспертизы на основе нанотехнологий.

Внедрение нанолaborатории NTEGRA Spectra позволило существенно расширить технические возможности экспертной методологии, а также запланировать организацию научных исследований 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 [1]. Поэтому как потребителям, так и производителям нанопродукции необходимы научные заключения о ее безопасности, что обуславливает выбор сфер внедрения наноматериалов и выход на новые рынки сбыта.

Предполагаемыми результатами исследований в области нанобезопасности могут стать:

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

Представляется, что активное развитие указанных направлений научной деятельности учебно-научной лаборатории нанотехнологий позволит создать в университете экспертный центр. В экспертном центре планируется выполнение экспертных оценок и тестирование эксплуатационных характеристик материалов в твердой и жидкой фазах по заявкам заказчиков.

Для расширения сферы внешней научной деятельности университета ГПС МЧС России 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.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Бобринецкий, И.И. Технология производства углеродных нанотрубок методом каталитического пиролиза этанола из газовой фазы / И.И. Бобринецкий, В.К. Неволин, М.М. Симуни // Химическая технология. – 2007. – Т. 8, № 2. – С. 58–62.
2. Иванов, А.В. Исследование эксплуатационных характеристик наномодифицированных огнезащитных вспучивающихся композиций в условиях углеводородного пожара на объектах транспортировки нефтепродуктов / А.В. Иванов, А.А. Боева, Г.К. Ивахнюк, С.Н. Терехин, В.Я. Про-

- рок // Пожаровзрывобезопасность. – 2017. – Т. 26, № 10. – С. 5–19. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.10.5-19.
3. Иванов, А.В. Методы управления свойствами углеводородных жидкостей в задачах обеспечения пожарной безопасности / А.В. Иванов, Г.К. Ивахнюк, Л.В. Медведева // Пожаровзрывобезопасность. – 2016. – Т. 25, № 9. – С. 30–37. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.09.30-37.
  4. Иванов, А.В. Исследование характеристик модифицированных гидрогелей для тепловой защиты резервуаров нефтепродуктов / А.В. Иванов, В.И. Михайлова, Г.К. Ивахнюк, Ф.В. Демехин // Пожаровзрывобезопасность. – 2016. – Т. 26, № 4. – С. 58–67. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.04.58-67.
  5. Иванов, А.В. Управление электростатическими свойствами жидких углеводородов, модифицированных углеродными наноструктурами / А.В. Иванов, А.Ю. Сорокин, Г.К. Ивахнюк, Ф.В. Демехин // Пожаровзрывобезопасность. – 2017. – Т. 26, № 7. – С. 16–27. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.07.16-27.
  6. Иванов, А.В. Применение электрофизического метода управления процессами парообразования легковоспламеняющихся жидкостей в условиях модификации углеродными наноконпонентами / А.В. Иванов, Г.К. Ивахнюк // Вестник Санкт-Петербургского ун-та ГПС МЧС России. – 2015. – № 3. – С. 1–9.
  7. Иванов, А.В. Нанотехнологические решения при обеспечении пожарной и промышленной безопасности инновационных промышленных предприятий / А.В. Иванов, Г.К. Ивахнюк, Л.В. Медведева // Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты). – 2016. – № 3. – С. 6–12.
  8. Иванов, А.В. Условия стабилизации наноструктур для безопасной транспортировки легковоспламеняющихся жидкостей / А.В. Иванов, А.А. Мифтахутдинова, С.А. Нефедьев, М.А. Симонова, М.Д. Маслаков // Пожаровзрывобезопасность. – 2017. – Т. 26, № 9. – С. 35–43. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.09.35-43.
  9. Иванов, А.В. Исследование огнетушащих свойств воды и гидрогелей с углеродными наноструктурами при ликвидации горения нефтепродуктов / А.В. Иванов, Д.П. Торопов, Г.К. Ивахнюк, А.А. Кузьмин, А.В. Федоров // Пожаровзрывобезопасность. – 2017. – Т. 26, № 8. – С. 31–34. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.08.31-44.
  10. Ивахнюк, Г.К. Адсорбционные и электрофизические методы синтеза наноматериалов / Г.К. Ивахнюк, Н.Т. Картель, А.В. Иванов, З.В. Капитоленко // Известия Санкт-Петербургского гос. технологического ин-та (тех. ун-та). – 2011. – № 12. – С. 58–59.
  11. Коваленко, А.А. Спектроскопия комбинационного рассеяния: метод. разработка / А.А. Коваленко, А.А. Елисеев. – М.: МГУ, 2011. – 37 с.
  12. Сидоров, С.Г. Подготовка кадров для nanoиндустрии в России / С.Г. Сидоров // Вестник Волгоградского гос. ун-та. – Сер. 3. Экономика. Экология. – 2015. – № 1 (30). – С. 91–102. DOI: <http://dx.doi.org/10.15688/jvolsu3.2015.1.9>.
  13. Сканирующий зондовый микроскоп НАНОЭДЬЮКАТОР II. Руководство по эксплуатации [Электронный ресурс]. – М.: ЗАО «Нанотехнология-МДТ», 2012. – 134 с. – Режим доступа: [https://www.ntmdt-si.ru/data/media/files/manuals/Russian/nanoedyukator\\_ii\\_ukovodstvo\\_po\\_ekspluatacii-new.pdf](https://www.ntmdt-si.ru/data/media/files/manuals/Russian/nanoedyukator_ii_ukovodstvo_po_ekspluatacii-new.pdf). – Дата доступа 22.02.2018.

## THE EDUCATIONAL AND SCIENTIFIC NANOTECHNOLOGY LABORATORY OF THE ST. PETERSBURG UNIVERSITY OF THE STATE FIRE SERVICE OF EMERCOM OF RUSSIA: THE HISTORY OF CREATION AND THE MAIN DIRECTIONS OF ACTIVITY

**Ludmila Medvedeva**, Grand PhD in Pedagogics Sciences, Professor

Saint-Petersburg University of the State Fire Service  
of EMERCOM of Russia, St. Petersburg, Russia

*Purpose.* The purpose of the development of a new direction in scientific activity of the University is the elaboration of new methods of using nanotechnologies for urgent scientific and practical problems solving in the Ministry of EMERCOM of Russia in the field of fire safety and criminalist expertise.

*Methods.* For the growth of multilayer nanotubes, chemical vapor deposition technologies have been used. Adsorption and electrophysical methods, Raman spectroscopy, and scanning probe microscopy methods have been used to synthesize materials modified by carbon nanocomponents and to study their operational characteristics.

*Findings.* Experimental data on operational characteristics of modified hydrogels and nanomodified fire-retardant intumescent compositions in hydrocarbon fire conditions have been obtained; as well as the data on fire-extinguishing properties of hydrogels-carbon nanostructures in comparison with water. Methods for controlling the electrostatic properties of hydrocarbon liquids and the processes of vaporization of flammable liquids are proposed.

*Application field of research.* The obtained results confirm the possibility of practical use of modified nanostructures for oil product tanks thermal protection and their extinguishing; increase of facilities and transportation safety of flammable liquids; reduction of hydrocarbon fire risks.

*Conclusions.* The methods for synthesizing nanostructures and researching their operational characteristics for practical use in the field of fire safety and criminalist expertise are proposed.

*Keywords:* micro world, nanotechnology, nanotechnology educational laboratory, carbon nanotubes, nanoscale component, fire extinguishing, scanning probe microscopy, probe nanolithography, expert methodology, nanosafety.

(The date of submitting: March 7, 2018)

### REFERENCES

1. Bobrinetskiy I.I., Nevolin V.K., Simunin M.M. Tekhnologiya proizvodstva uglerodnykh nanotrubok metodom kataliticheskogo piroliza etanola iz gazovoy fazy [The technology of production of carbon nanotubes by the method of catalytic pyrolysis of ethanol from the gas phase]. *Khimicheskaya tekhnologiya*. 2007. Vol. 8, No. 2. Pp. 58–62. (rus)
2. Ivanov A.V., Boeva A.A., Ivakhnyuk G.K., Terekhin S.N., Prorok V.Ya. Issledovanie ekspluatatsionnykh kharakteristik nanomodifitsirovannykh ognезashchitnykh vspuchivayushchikhsya kompozitsiy v usloviyakh uglevodorodnogo pozhara na ob"ektakh trans-portirovki nefteproduktov [Research of operational characteristics of nanomodified fire-resistant intumescent compositions in the conditions of a hydrocarbon fire at oil transportation facilities]. *Pozharovzryvbezopasnost'*. 2017. Vol. 26, No. 10. Pp. 5–19. (rus) DOI: 10.18322/PVB.2017.26.10.5-19.
3. Ivanov A.V., Ivakhnyuk G.K., Medvedeva L.V. Metody upravleniya svoystvami uglevodorodnykh zhidkostey v zadachakh obespecheniya pozharnoy bezopasnosti [Methods for controlling the properties of hydrocarbon liquids in fire safety problems]. *Pozharovzryvbezopasnost'*. 2016. Vol. 25, No. 9. Pp. 30–37. (rus) DOI: 10.18322/PVB.2016.25.09.30-37.
4. Ivanov A.V., Mikhaylova V.I., Ivakhnyuk G.K., Demekhin F.V. Issledovanie kharakteristik modifitsirovannykh gidrogeley dlya teplovoy zashchity rezervuarov nefteproduktov [Study of the characteristics of modified hydrogels for thermal protection of oil product tanks]. *Pozharovzryvbezopasnost'*. 2016. Vol. 26, No. 4. Pp. 58–67. (rus) DOI: 10.18322/PVB.2017.26.04.58-67.
5. Ivanov A.V., Sorokin A.Yu., Ivakhnyuk G.K., Demekhin F.V. Upravlenie elektrostatcheskimi svoystvami zhidkikh uglevodorodov, modifitsirovannykh uglerodnymi nanostrukturami [Controlling the electrostatic properties of liquid hydrocarbons modified by carbon nanostructures]. *Pozharovzryvbezopasnost'*. 2017. Vol. 26, No. 7. Pp. 16–27. (rus) DOI: 10.18322/PVB.2017.26.07.16-27.
6. Ivanov A.V., Ivakhnyuk G.K. Primenenie elektrofizicheskogo metoda upravleniya protsessami paroobrazovaniya legkovosplamenyayushchikhsya zhidkostey v usloviyakh modifikatsii uglerodnymi

- nanokomponentami [Application of the electrophysical method for controlling the evaporation of flammable liquids under the conditions of modification by carbon nanocomponents]. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta GPS MChS Rossii*. 2015. No. 3. Pp. 1–9. (rus)
7. Ivanov A.V., Ivakhnyuk G.K., Medvedeva L.V. Nanotekhnologicheskie resheniya pri obespechenii pozharnoy i promyshlennoy bezopasnosti innovatsionnykh promyshlennykh predpriyatiy [Nanotechnological solutions for ensuring fire and industrial safety of innovative industrial enterprises]. *Prirodnye i tekhnogennye riski (fiziko-matematicheskie i prikladnye aspekty)*. 2016. No. 3. Pp. 6–12. (rus)
  8. Ivanov A.V., Miftakhutdinova A.A., Nefed'ev S.A., Simonova M.A., Maslakov M.D. Usloviya stabilizatsii nanostruktur dlya bezopasnoy transportirovki legkovosplamenyayushchikhsya zhidkostey [Conditions for the stabilization of nanostructures for the safe transport of flammable liquids]. *Pozharovzryvobezopasnost'*. 2017. Vol. 26, No. 9. Pp. 35–43. (rus) DOI: 10.18322/PVB.2017.26.09.35-43.
  9. Ivanov A.V., Toropov D.P., Ivakhnyuk G.K., Kuz'min A.A., Fedorov A.V. Issledovanie ognetchashchikh svoystv vody i gidrogeley s uglernymi nanostrukturami pri likvidatsii goreniya nefteproduktov [Investigation of the fire-extinguishing properties of water and hydrogels with carbon nanostructures during the liquidation of the burning of petroleum products]. *Pozharovzryvobezopasnost'*. 2017. Vol. 26. No. 8. Pp. 31–34. (rus) DOI: 10.18322/PVB.2017.26.08.31-44.
  10. Ivakhnyuk G.K., Kartel' N.T., Ivanov A.V., Kapitolenko Z.V. Adsorbtsionnye i elektrofizicheskie metody sinteza nanomaterialov [Adsorption and electrophysical methods for the synthesis of nanomaterials]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta (tekhnicheskogo universiteta)*. 2011. No. 12. Pp. 58–59. (rus)
  11. Kovalenko A.A., Eliseev A.A. *Spektroskopiya kombinatsionnogo rasseyaniya: metod. razrabotka* [Spectroscopy combination scattering: methodological development]. Moscow, MSU, 2011. 37 p. (rus)
  12. Sidorov S.G. Podgotovka kadrov dlya nanoindustrii v Rossii [Training of personnel for the nanoindustry in Russia]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya 3. Ekonomika. Ekologiya*. 2015. No. 1 (30). Pp. 91–102. (rus) DOI: <http://dx.doi.org/10.15688/jvolsu3.2015.1.9>.
  13. *Skanniruyushchiy Zondovyy Mikroskop NANOEDUCATOR II. Rukovodstvo po ekspluatatsii*. [Scanning Probe Microscope NANOEDUCATOR II. Manual]. Moscow, ZAO «Nanotekhnologiya-MDT», 2012. 37 p., available at: [https://www.ntmdt-si.ru/data/media/files/manuals/Russian/nanoedyukator\\_ii.\\_rukovodstvo\\_po\\_ekspluatatsii-new.pdf](https://www.ntmdt-si.ru/data/media/files/manuals/Russian/nanoedyukator_ii._rukovodstvo_po_ekspluatatsii-new.pdf) (accessed: February 22, 2018). (rus)