РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОГРАММЫ РАЗВИТИЯ НАНОИНДУСТРИИ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ДО 2015 ГОДА IMPLEMENTATION OF PROGRAM OF NANOTECHNOLOGY INDUSTRY DEVELOPMENT IN RUSSIAN FEDERATION UNTIL 2015

УДК 338.2, ВАК 08.00.05, DOI: 10.22184/1993-8578.2017.76.5.66.81

К.Борисов¹, Е.Грузинова¹, О.Кокорев², А.Малахов³, А.Петров², А.Семин¹, А.Скुरатов² / skuratov@fcntp.ru
K.Borisov¹, E.Gruzina¹, O.Kokorev², A.Malakhov³, A.Petrov², A.Semin¹, A.Skuratov²

Рассмотрены основные результаты реализации государственных программ развития нанотехнологической промышленности в Российской Федерации. Отмечены достижения в области создания и развития инфраструктуры отрасли, подготовки кадров, стандартизации, защиты интеллектуальной собственности, организации поддержки НИОКР и промышленного производства нанотехнологической продукции.

The main results of the state programs for the development of the nanotechnology industry in the Russian Federation are considered. Achievements in the field of creation and development of the infrastructure of the industry, training of personnel, standardization, protection of intellectual property, support of R&D and industrial production of nanotechnology products are noted.

Основополагающим документом по вопросу развития нанотехнологической промышленности в Российской Федерации стала президентская инициатива "Стратегия развития нанотехнологической промышленности", утвержденная Президентом РФ 24 апреля 2007 года № Пр-688. С целью ее реализации принята к исполнению "Программа развития нанотехнологической промышленности в Российской Федерации до 2015 года" (поручение Правительства РФ от 4 мая 2008 года № ВЗ-П7-2702, далее – ПРН), которая носила координационный характер, определяя основные приоритеты и направления, инструменты и мероприятия по реализации стратегии, а также индикаторы, отражающие динамику развития отечественной нанотехнологической промышленности.

ИНФРАСТРУКТУРА НАНОИНДУСТРИИ

В экономически развитых странах создана современная инфраструктура нанотехнологической промышленности, например в США – Национальная

нанотехнологическая инфраструктурная сеть (National Nanotechnology Infrastructure Network, <http://www.nnin.org>), в ЕС – Нанотехнологическая инфраструктурная сеть стран Европейского сообщества (European Nanotechnology Infrastructure and Networks, <http://www.nanowerk.com>), в Японии – Нанотехнологическая платформа Японии (<http://nanonet.mext.go.jp/english>). В нашей стране в процессе реализации ФЦП "Развитие инфраструктуры нанотехнологической промышленности в Российской Федерации на 2008–2011 годы" (далее – ФЦП РИН) в 2007–2011 годах на базе 48 ведущих научно-исследовательских и образовательных организаций создано 52 объекта, в том числе 40 научно-образовательных центров (НОЦ) по направлению "нанотехнологии". Эти объекты составляют основу исследовательской, технологической и научно-образовательной инфраструктуры национальной нанотехнологической сети (ННС) [1].

¹ Департамент науки и технологий Министерства образования и науки Российской Федерации / Department of Science and Technology of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation.

² ФГБНУ "Дирекция научно-технических программ" / Directorate of State Scientific and Technical Programmes.

³ Национальный исследовательский ядерный университет "МИФИ" / National Research Nuclear University MEPhI.

Области деятельности ННС Areas of activity of NNN	ЦФО CFD	ПФО VFD	СЗФО NWFD	УФО UFD	СФО SFD	ДФО FEFD	СКФО NCFD	ЮФО SFD
	количество организаций number of organizations							
Конструкционные наноматериалы Structural nanomaterials	41	23	11	8	26	6	5	4
Наноэлектроника Nanoelectronics	30	15	13	3	17	3	2	2
Наноинженерия Nanoengineering	13	8	2	2	16	1	3	2
Функциональные наноматериалы и высокочистые вещества Functional nanomaterials and high-purity substances	30	24	12	5	19	0	2	3
Композитные наноматериалы Composite nanomaterials	33	18	6	5	35	4	2	3
Функциональные наноматериалы для энергетики Functional nanomaterials for power engineering	18	14	5	2	14	1	2	3
Нанобиотехнологии Nanobiotechnology	33	10	7	1	18	2	1	2
Нанотехнологии для систем безопасности Nanotechnology for security systems	4	3	3	0	1	0	0	1
Функциональные наноматериалы для космической техники Functional nanomaterials for space technology	9	6	0	1	4	0	0	0

Рис.1. Распределение организаций наноиндустрии по федеральным округам и по областям деятельности ННС (данные на 2016 год)
Fig.1. Distribution of nanotechnology organizations by federal districts and by areas of activity of NNN (2016)

В ННС вошли такие ведущие вузы страны, как МГУ, СПбГУ, НИЯУ МИФИ, МИЭТ, РУДН, МФТИ, МГТУ им. Н.Э.Баумана, НИТУ "МИСиС", СПбГПУ, СПбГЭТУ, НИУ ИТМО, ТПУ, НГУ, НГТУ, ТГУ, СГАУ, УГАТУ, СГУ, ННГУ, ЮФУ, ДВФУ, УрФУ. В последующие годы проходил поступательный процесс развития инфраструктуры наноиндустрии в рамках ПРН [2].

Специализированные элементы инфраструктуры наноиндустрии были созданы и другими участниками ПРН. Например, Минздрав России, привлекая внебюджетные средства, и опираясь на международный опыт научных исследований и организации трансфера технологий, а также отмечая возрастающее значение нано- и микротехники и технологий в медицинской

диагностике, в 2015 году создал НОЦ медицинских диагностических микросистем [3].

Общее количество организаций сферы наноиндустрии по федеральным округам и число организаций по тематическим направлениям деятельности ННС в федеральных округах представлены на рис.1. Структура организационно-координационного обеспечения формирования и развития ННС приведена на рис.2.

Финансирование развития наноиндустрии в рамках ПРН по направлениям расходования средств за период 2008–2015 годов, а также соответствующие затраты различных ведомств приведены на рис.3 и 4 [2].

Инфраструктура наноиндустрии, созданная Фондом инфраструктурных и образовательных

Рис.2. Структура организационно-координационного обеспечения формирования и развития ННС

Fig.2. Structure of organizational and coordination support for formation and development of NNN

Рис.3. Направления расходования средств на поддержку нанотехнологической промышленности

Fig.3. Areas of investments in support of nanotechnology industry

Рис.4. Финансирование nanoиндустрии участниками ПРН

Fig.4. Financing of nanoindustry by participants of Nanoindustry Development Program

программ (ФИОП), входящим в группу "РОСНАНО", состоит из следующих организаций: нанотехнологических центров (далее – наноцентры) [4], основной целью деятельности которых является создание и поддержка (юридическая, маркетинговая, патентная и т.п.) малых инновационных компаний и коммерциализация новых технологий; технологических инжиниринговых компаний (ТИК), основной областью деятельности которых является коммерческая разработка по заказу сторонних организаций оригинальных технологий, оборудования и/или продуктов на основе собственной технологической базы; центров трансфера технологий (ЦТТ), нацеленных на развитие и поддержку инфраструктуры nanoиндустрии в России.

По состоянию на конец 2015 года [4], при участии ФИОП в 10 регионах России создано 14 наноцентров, каждый из которых специализируется на определенных технологических направлениях, в том числе наноэлектронике, медицине, новых материалах, биотехнологиях, композитах, прикладных лазерных технологиях, робототехнике.

Начиная с 2014 года, развитие сети наноцентров учитывает государственные интересы в области создания компаний в целях импортозамещения. В соответствии с разработанной Минпромторгом РФ программой импортозамещения [5] проектные компании ФИОП формируют инфраструктуру и технологическую базу, в том числе, для быстрого разворачивания

Рис.5. Динамика роста портфеля стартапов

Fig.5. Growth dynamics of startup portfolio

производства продукции и технологических решений, замещающих импортные аналоги и снижающих зависимость от них как в гражданском секторе экономики, так и в областях спецприменений.

Наиболее успешные проекты ФИОП по развитию инфраструктуры наноиндустрии представлены на его интернет-сайте (<http://www.rusnano.com/infrastructure>). В 2015 году наноцентры активно осуществляли поиск новых проектов, в результате чего число стартапов выросло до 406 работающих компаний (рис.5) [4]. В структуре портфеля преобладают малые проекты, находящиеся на посевной стадии развития.

На конец 2015 года ФИОП созданы и реализуются проекты восьми ТИК [4]:

- "ЭУФ Лабс" – компания по инжинирингу применений новых источников экстремального УФ-излучения;
- "ПЛД Инжиниринг" – компания по инжинирингу применений технологии PLD (Pulsed laser deposition, импульсное лазерное напыление) для получения пленок и покрытий путем конденсации на поверхности подложки продуктов взаимодействия в вакууме импульсного лазерного излучения с материалом мишени (при абляции);
- "АрТекКомпозитс" – инжиниринговый центр производства изделий на основе композиционных материалов, а также проектирования изделий с помощью разработанных методик и программного обеспечения для моделирования свойств композитов на различных этапах жизненного цикла продукта;

- ИЦ "Газотурбинные технологии" – компания по доведению технико-экономических показателей установки ГТД-110 до уровня рыночного продукта. ГТД-110 – первая российская газовая турбина большой мощности, разработанная ОАО "НПО "Сатурн" для применения в составе энергетических и парогазовых установок (в диапазоне мощностей от 100 М до 500 МВт и более);
- "Центр инжиниринга по применению технологии RFID" – инжиниринговая компания в области разработки и внедрения аппаратно-программных комплексов для автоматизации различных производственных и бытовых задач на базе технологии RFID;
- "Инжиниринговый центр аддитивных технологий" – инжиниринговый центр с крупнейшим в России инфраструктурным центром аддитивных технологий (14 различных принтеров). Основная деятельность – быстрое прототипирование литейных деталей при помощи 3D-печати и мелкосерийное производство деталей с помощью аддитивных технологий;
- "ЛВМ АТ" – инжиниринговый центр по математическому моделированию и суперкомпьютерному инжинирингу сложных изделий, в том числе изготавливаемых с помощью аддитивных технологий;
- "Т8 Сенсор", основной деятельностью которой является разработка и внедрение оптоволоконных систем на основе технологии детектирования внешних возбуждений со стандартным одномодовым оптическим волокном в качестве чувствительного элемента датчика.

Основная задача ЦТТ – поддержка непрерывности цикла реализации инновационных проектов, включая роль "инновационного лифта", обеспечение финансирования и поддержки проектов на всех стадиях инновационного процесса путем координации и организации взаимодействия институтов развития: ОАО "РВК", Фонда "Сколково", Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере и группы "РОСНАНО" (включая наноцентры и их портфельные компании). Результатом работы ЦТТ стало создание более 50 передовых стартап-компаний и формирование семи ключевых перспективных специализаций дальнейшего развития проектов [4].

В современную инфраструктуру наноиндустрии входят также отраслевые научно-производственные кластеры. На заседании Совета ННС, состоявшегося в июне 2014 года, одобрены

Рис.6. Рабочие места и уровень подготовки сотрудников
Fig.6. Jobs and staff training level

Рис.7. Доли сотрудников по специальностям "нано"
Fig.7. Shares of employees of "nano" specialties

четыре приоритетные отраслевые научно-производственные задачи наноиндустрии, для решения которых целесообразно создание отраслевых научно-производственных кластеров [6]:

- разработка элементной базы на основе новых наноматериалов (на базе ВПО "МИЭТ" и ЦНИИХМ);
- разработка и создание элементной базы экстремальной электроники и рентгеновской оптики на основе монокристаллов синтетического алмаза (и его аналогов), включая активные и пассивные компоненты, устройства для лазеров на свободных электронах и для других проектов (на базе ТИСНУМ);
- создание полимерных и композитных наноматериалов для медицины (на базе НИЦ "Курчатовский институт");
- создание нового поколения конструкционных материалов и конструкционно-функциональных элементов по направлениям наноструктурированные стали и сплавы, наноразмерные и наноструктурированные порошки, многослойные и функционально-градиентные покрытия и изделия на их основе, нанокомпозиты (на базе ЦНИИ КМ "Прометей").

Первые две отраслевые научно-производственные задачи наноиндустрии решаются в рамках ФЦП "Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014–2020 годы".

ПОДГОТОВКА, ПЕРЕПОДГОТОВКА И ЗАКРЕПЛЕНИЕ КАДРОВ ДЛЯ НАНОИНДУСТРИИ

Формирование наноиндустрии потребовало устойчивого функционирования и развития системы подготовки, переподготовки и закрепления кадров для обеспечения эффективности исследований и разработок. В результате в ведущих вузах России создано 42 НОЦ по нанотехнологиям [1, 2], в которых

Таблица 1. Количество студентов, прошедших обучение в НОЦ, и выпускников по направлениям подготовки в области нанотехнологий

Table 1. Number of students who received training at scientific-educational centers and graduates in field of nanotechnology

Год Year	Количество студентов, прошедших обучение в НОЦ по направлениям в области нанотехнологий Number of students who received training at scientific-educational centers in field of nanotechnology	Количество выпускников по направлениям подготовки в области нанотехнологий (в целом по вузу, в составе которого находится НОЦ) Number of graduates in field of nanotechnology (in general for university with scientific-educational center)
2012	3 083	1733
2013	3 521	1794
2014	4 204	2186
2015	4 606	2261

Рис.8. Технологическая структура 130 образовательных программ, разработанных при поддержке ФИОП

Fig.8. Technological structure of 130 educational programs developed with support of FIEP

ежегодно проходят обучение более 4 тыс. студентов, при этом количество выпускников по направлениям подготовки в области нанотехнологий превышает 2 тыс. (табл.1). В целом же в стране ежегодный выпуск по нанотехнологическим специальностям из вузов составляет более 3500 человек.

Проведенный авторами статьи и ФГБНУ "Госметодцентр" [7] мониторинг показал (рис.6 и 7) тенденцию роста доли сотрудников по специальностям "нано" в пределах 10%, при этом их доля от общего количества сотрудников с высшим образованием составляет 23%.

Образовательные программы, создаваемые при поддержке ФИОП, ориентированы на подготовку следующих целевых групп специалистов [4]:

- команды разнопрофильных специалистов для запуска и становления производства;
- сотрудники R&D и проектно-конструкторских подразделений предприятий;
- потребители нанотехнологической продукции;
- специалисты нанотехнологического профиля для групп компаний.

В 2015 году завершилась разработка 28 образовательных программ, по которым прошли подготовку свыше 1 тыс. специалистов нанотехнологических компаний. Всего за период 2011–2015 годов при поддержке ФИОП создано 130 образовательных программ (рис.8), в рамках апробации которых проведено обучение 4303 специалистов предприятий наноиндустрии. В подготовке персонала предприятий наноиндустрии приняли участие более 50 ведущих университетов России [4]. На конец 2015 года результатом тиражирования образовательных программ ФИОП стало

обучение 41 582 специалистов предприятий и студентов нанотехнологических специальностей.

По запросу компаний наноиндустрии в 2015 году ФИОП начал разработку 16 новых образовательных программ.

В 2015 году продолжилась реализация программы "Развитие системы электронного образования "e-Learning" (<http://www.rusnano.com/infrastructure/education/e-learning>), которая ориентирована на формирование системы непрерывной и распределенной подготовки кадров компаний наноиндустрии. В ее рамках в отчетный период было подготовлено 150 электронных образовательных модулей, а их общее количество достигло 347.

В целях формирования национальной рамки квалификаций в нанотехнологическом секторе в 2015 году были разработаны, утверждены приказами Минтруда России и прошли регистрацию в Минюсте России 11 новых профессиональных стандартов по перспективным инженерным профессиям нанотехнологического профиля. Всего для предприятий наноиндустрии ФИОП подготовил 35 профессиональных стандартов. Все они внесены в реестр профессиональных стандартов РФ [4].

Во исполнение распоряжения Правительства РФ от 14 мая 2015 года № 881-р об утверждении плана-графика формирования сети независимых центров сертификации профессиональных квалификаций в декабре 2015 года наблюдательным советом ФИОП была утверждена программа "Развитие системы оценки профессиональных квалификаций в наноиндустрии на период 2016–2018 годов".

Таблица 2. Перечень продукции нанотехнологий, которая должна появиться на рынке через три-пять лет

Table 2. List of nanotechnology products, which should appear on the market in three to five years

Название продукции Product name	Область применения Application area
Пластинчатые металл-алмазные композиты Lamellar metal-diamond composites	Изготовление перспективных космических аппаратов Producing of advanced space vehicles
Датчики физических величин на основе тонких алмазных микропленок Sensors of physical quantities based on thin diamond microfilms	Изготовление космических аппаратов нового поколения, атомная промышленность Manufacture of new generation of space vehicles, nuclear industry
Датчик элементного состава газовой среды на основе функционализированных наноструктурных материалов Sensor of elemental composition of gaseous medium on basis of functionalized nanostructured materials	Мониторинг окружающей среды, безопасность на производстве, безопасность в жилых домах, бытовое применение, дорожное движение (включая туннели и автопарковки), общественная безопасность, сфера здравоохранения и медицина, промышленность (нефтехимическая, металлургическая и др.), аэрокосмическая отрасль Environmental monitoring, production safety, safety in residential buildings, domestic use, road traffic (including tunnels and parking lots), public safety, health and medicine, industry (petrochemistry, metallurgy, etc.), aerospace
Искусственные связки на основе бионанокompозитов Artificial ligaments based on bio-nanocomposites	Здравоохранение и медицина Health and medicine
Биоактивные материалы для стоматологии Bioactive materials for dentistry	Стоматология Stomatology
Решения для повышения стойкости труб магистральных газопроводов к коррозионному растрескиванию под напряжением Solutions for increasing resistance of trunk gas pipelines against stress corrosion	Нефтехимическая промышленность Petrochemistry
Неинвазивные интерфейсы "глаз – мозг – робототехническое устройство" "Eye – brain – robotic device" non-invasive interfaces	Система отслеживания направления взгляда и на ее основе – системы управления компьютерными программами для пользователей, взаимодействия с разноплановыми сложными техническими системами. Используются как в реабилитационных, так и в немедицинских приложениях System of tracking direction of view and creating on its basis computer management systems for users interacting with diverse complex technical systems. For use in both rehabilitation and non-medical applications
Фармацевтические препараты в составе различных полимерных носителей Pharmaceutical preparations in various polymeric carriers	Нанобиотехнологии Nanobiotechnology
Искусственные ткани и органы. Биосовместимые и биodeградируемые материалы Artificial tissues and organs. Biocompatible and biodegradable materials	Медицина: ортопедия, травматология, шовные материалы для хирургии, раневые и противоожоговые повязки Medicine: orthopedics, traumatology, sutures for surgery, wound and anti-burn dressings
УДА-обработка биоматериалов Processing of biomaterials	Пищевая промышленность: спиртовое производство, продукты быстрого приготовления (например, каши), спортивное питание, спецпитание для больных и людей, работающих в экстремальных условиях (военнослужащие, МЧС и т.п.) Food industry: alcohol production, fast food products (for example, porridge), sports nutrition, special food for patients and people working in extreme conditions (servicemen, etc.)
Электромагнитные экраны и радиопоглощающие материалы Electromagnetic screens and radio absorbing materials	Медицина (неинвазивные методы диагностики и лечения), энергетика, транспорт и ЖКХ (экранирование кабельных трасс, трансформаторных подстанций), оборонная промышленность (снижение заметности, защита передачи информации) Medicine (non-invasive methods of diagnosis and treatment), energy, transport, housing and communal services (shielding of cable routes, transformer substations), defense industry (reduced visibility, protection of information transmission)

Название продукции Product name	Область применения Application area
Создание изделий особо сложной формы за один технологический цикл Creation of products of particularly complex shape in one technological cycle	Машиностроение, судостроение, авиастроение, транспорт, медицина Mechanical engineering, shipbuilding, aircraft building, transport, medicine
Наноструктурированный износостойко-коррозионно-стойкие многослойные покрытия на основе оксидов, нитридов и карбидов для добычи углеводородного топлива на шельфе Ледовитого океана Nanostructured wear-corrosion-resistant multilayer coatings based on oxides, nitrides and carbides for extraction of hydrocarbons on the Arctic Ocean shelf	Пароходы ледового класса, ледоколы, строящиеся и проектируемые платформы по добыче углеводородного топлива Icebreakers, platforms for extraction of hydrocarbons
Антизадиры коррозионно-стойкие покрытия для ТЭК Scoring- and corrosion-resistant coating for fuel and energy complex	Нефтегазовая промышленность (соединительные муфты и трубы для добычи нефти и газа) Oil and gas industry (connecting couplings and pipes for oil and gas production)
Термостойкие и огнезащитные материалы Heat-resistant and flame retardant materials	Изготовление безасбестовых уплотнений и огнезащитных терморасширяющихся материалов Manufacture of non-asbestos seals and flame retardant thermo-expanding materials
Различные типы кремниевых кристаллических структур (политипы), полученных с использованием катализирующих металлических наночастиц при вариации внешних условий Different types of silicon crystalline structures (polytypes) obtained using catalyzing metallic nanoparticles under variation of external conditions	Солнечные батареи и другие фотонные устройства. Приборы ночного видения Solar cells and other photonic devices. Night-vision devices

ОПЕРЕЖАЮЩЕЕ РАЗВИТИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ И РАЗРАБОТОК

Координацию научной деятельности в сфере наноиндустрии в 2008–2015 годах осуществлял НИЦ "Курчатовский институт". За этот период сформирован значительный научно-технологический задел по направлению нанотехнологии (табл.2) [8].

В соответствии с приказом Роспотребнадзора от 30 ноября 2007 года № 340 на базе ФГБНУ "НИИ питания" организован Информационно-аналитический центр по проблеме безопасности нанотехнологий и наноматериалов, в рамках которого функционирует "Единая компьютерная база данных по наноматериалам и нанотехнологиям, используемым в Российской Федерации (реестр)". По состоянию на 31 декабря 2015 года, в базу данных внесены сведения о 1035 видах продукции, произведенной с использованием наноматериалов (рис.9) [9].

Примерами участия портфельных компаний АО "РОСНАНО" в создании условий для масштабного наращивания объема производства продукции наноиндустрии и выхода профильных российских организаций на мировой рынок высоких

технологий являются компания "Монокристалл", АО "Новомет-Пермь", ООО "РМТ", ООО "Оптосенс" [4].

Компания "Монокристалл" производит три вида продукции, востребованной на мировом рынке:

- сапфировые цилиндры – монокристаллы сапфира цилиндрической формы, которые являются заготовкой для производства сапфировых подложек;
- сапфировые подложки – тонкие пластины сапфира, которые применяются в опто- и микроэлектронике для наращивания на них слоев из различных материалов (нитрид галлия, кремний и др.). В настоящее время такие подложки являются наиболее эффективными для производства светодиодов из-за наилучшего соотношения цена/качество;
- серебросодержащие и алюминиевые композиционные пасты для металлизации кремниевых солнечных элементов.

Благодаря свойствам своей кристаллической решетки, стоимости и доступности в объемах, необходимых для массового производства, синтетический сапфир является предпочтительным материалом для изготовления подложки при производстве

светодиодов высокой яркости, СВЧ интегральных схем, оптических устройств.

Пермская компания АО "Новомет-Пермь" производит высокоэффективное погружное нефтедобывающее оборудование для эксплуатации в особо сложных условиях. Технологическим новшеством проекта является использование защитных и функциональных наноструктурированных покрытий на основе карбида вольфрама с применением оксида титана, оксида алюминия, хрома и молибдена, разработанных совместно с партнерами. Это делает российские насосы одними из лучших на мировом рынке по надежности и энергопотреблению, особенно при добыче нефти на сложных месторождениях и шельфе. Группа "Новомет" активно выходит на зарубежные рынки: в 2013 году компания выиграла ряд тендеров на общую сумму 230 млн долл. США. В связи с этим компания расширяет сеть своих сервисных центров (Аргентина, Колумбия, Мексика, Египет, Ирак, Кувейт, Индонезия и Румыния).

Компания ООО "РМТ" разрабатывает термоэлектрические микромодули на основе эффекта Пельтье, которые предназначены для охлаждения, локального отвода тепла и поддержания теплового режима, необходимого для эффективной работы полупроводниковых и иных типов лазеров, мощных светодиодов, высокочувствительных фотоприемников, элементов высокопроизводительных интегральных схем и микропроцессоров, а также медицинских приборов. В мае 2011 года в рамках проекта была открыта опытная производственная площадка в Москве, а в ноябре 2011 года – основное серийное производство термоэлектрических охлаждающих микромодулей в нижегородском технопарке "Анкудиновка".

Уникальность проекта ООО "Оптосенс" заключается в использовании полупроводниковых поликристаллических наноразмерных слоев при серийном производстве источников излучения и фотогальванических приемников. Разработанный оптический ИК-датчик отличается высоким быстродействием (от 5,5 с против 10 с у конкурентов), долговечностью (срок службы – семь лет, у конкурентов – до пяти лет), устойчивостью работы при высокой влажности и отсутствии кислорода, низким энергопотреблением (от 5 мВт против более 200 мВт у конкурентов), что обеспечивает его востребованность в России и на мировом рынке. В декабре 2011 года компания запустила в Санкт-Петербурге новую производственную линию по выпуску оптических компонентов – ключевых элементов датчиков

Рис.9. Распределение потребительской продукции, произведенной с использованием наночастиц и наноматериалов
Fig.9. Distribution of consumer products produced using nanoparticles and nanomaterials

взрывоопасных газов. Продукция компании экспортируется в США и странах Европы и прошла международную сертификацию АTEX и IECEx. Весной 2013 года "Оптосенс" начал поставки ИК-датчиков углеводородов для портативных газоанализаторов американской компании Gas Clip Technologies. Применение этих датчиков позволило впервые в мировой практике добиться непрерывной работы конечного прибора от батареи в течение двух месяцев.

Для информационного обеспечения организаций, образующих ННС, Роспатент обеспечил участников ФЦП РИН бесплатным доступом к базам данных полнотекстовых описаний отечественных изобретений

Рис.10. Динамика обращения в 2009–2015 годах к патентной базе ФИПС организаций, входящих в ННС [10]

Fig.10. Dynamics of use of FIPS patent database by organizations of NNN in 2009–2015 [10]

и полезных моделей. Доступ к базе ФИПС предоставляется в течение семи лет (рис.10) [10].

Динамика регистрации патентов в области нанотехнологий в России на изобретения за 2008–2015 годы представлена на рис.11 и в табл.3.

В рамках ФЦП РИН был создан Центр метрологического обеспечения и оценки соответствия нанотехнологий и продукции нанотехнологий на базе головной организации ВНИИОФИ.

В рамках реализации методической составляющей ФЦП РИН было создано 45 метрологических комплексов, 180 эталонных мер и стандартных образцов, 248 методик измерений и 50 нормативных документов (табл.4) [11].

Рис.11. Гистограмма регистрации патентов на изобретения в РФ в области нанотехнологий [10]

Fig.11. Histogram of registration of patents for inventions in Russian Federation in field of nanotechnology industry [10]

СОВРЕМЕННАЯ РОССИЙСКАЯ НАНОИНДУСТРИЯ

По данным Росстата [12], в 2015 году продукцию, связанную с нанотехнологиями, выпускали 567 предприятий и организаций, включая 227 научных и научно-производственных организаций. По состоянию на 31 декабря 2015 года 106 компаний, осуществлявших выпуск продукции, связанной с нанотехнологиями, созданы и/или осуществляли реализацию проектов с участием АО "РОСНАНО"; 461 компания – независимые производители. Учетными Росстатом предприятиями и организациями в 2015 году было поставлено потребителям нанотехнологической продукции на 1019,1 млрд руб. в их текущих оптовых ценах (на 1269 млрд руб. в ценах

Таблица 3. Результаты мониторинга патентования в РФ [10] изобретений и полезных моделей в области нанотехнологий в 2008–2015 годах

Table 3. Results of patent monitoring in Russian Federation [10] in the field of nanotechnologies in 2008–2015

		2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Общее количество выданных патентов Total number of issued patents		34	21	102	117	167	118	116	90
Российские заявители Russian applicants	юридические лица Legal entities	31	18	82	90	129	106	89	68
	физические лица Individuals	3	3	17	25	38	10	20	17
	всего Total	34	21	99	115	167	116	109	85
Иностранные заявители Foreign applicants		0	0	3	2	0	2	7	5

Рис.12. Динамика объема продаж российской продукции наноиндустрии с учетом вклада группы "РОСНАНО"

Fig.12. Dynamics of sales of Russian nanotechnology products, taking into account contribution of RUSNANO

конечных потребителей), в том числе выполнено и сдано заказчикам НИОКР, связанных с нанотехнологиями, на 19,5 млрд руб. (1,9% всей выручки от поставок).

Наибольшая концентрация организаций, производителей товаров и услуг в области наноиндустрии наблюдается в Центральном и Приволжском федеральных округах, наименьшая – в Северо-Кавказском и Дальневосточном федеральных округах. По объемам отгруженной продукции наноиндустрии в части товаров и услуг наивысшие показатели (более,

чем в других федеральных округах вместе взятых) достигнуты в Приволжском федеральном округе, наименьший показатель – в Северо-Кавказском федеральном округе. Анализ распределения продукции наноиндустрии в части товаров и услуг на экспорт по федеральным округам показывает, что наибольшие показатели наблюдаются в Приволжском федеральном округе. В Дальневосточном федеральном округе и Северо-Кавказском федеральном округе отгрузка продукции наноиндустрии в части товаров и услуг на экспорт практически не осуществляется.

Таблица 4. Перечень стандартов, разработанных в области наноиндустрии [11]

Table 4. List of standards developed in field of nanotechnology industry [11]

№ п/п	Обозначение стандарта Designation of standard	Наименование стандарта Name of standard
1.	ГОСТ 8.591-2009	Государственная система обеспечения единства измерений. Меры рельефные нанометрового диапазона с трапециевидальным профилем элементов. Методика поверки State system for ensuring the uniformity of measurements. Nanometer range relief measures with trapezoidal profile of elements. Verification method
2.	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 State system for ensuring the uniformity of measurements. Single-crystal silicon nanometer range relief measures. Geometrical shapes, linear size and manufacturing material requirements
3.	ГОСТ 8.593-2009	Государственная система обеспечения единства измерений. Микроскопы сканирующие зондовые атомно-силовые. Методика поверки State system for ensuring the uniformity of measurements. Atomic-force scanning probe microscopes. Verification method
4.	ГОСТ 8.594-2009	Государственная система обеспечения единства измерений. Микроскопы электронные растровые. Методика поверки State system for ensuring the uniformity of measurements. Scanning electron microscopes. Verification methods

№ п/п	Обозначение стандарта Designation of standard	Наименование стандарта Name of standard
5.	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 State system for ensuring the uniformity of measurements. Single-crystal silicon nanometer range relief measures. Requirements for geometrical shapes, linear sizes and manufacturing material selection
6.	ГОСТ Р 8.629-2007	Государственная система обеспечения единства измерений. Меры рельефные нанометрового диапазона с трапецидальным профилем элементов. Методика поверки State system for ensuring the uniformity of measurements. Nanometer range relief measures with trapezoidal profile of elements. Methods for verification
7.	ГОСТ Р 8.630-2007	Государственная система обеспечения единства измерений. Микроскопы сканирующие зондовые атомно-силовые измерительные. Методика поверки State system for ensuring the uniformity of measurements. Atomic-force scanning probe microscopes. Methods for verification
8.	ГОСТ Р 8.631-2007	Государственная система обеспечения единства измерений. Микроскопы электронные растровые измерительные. Методика поверки State system for ensuring the uniformity of measurements. Scanning electron microscopes. Methods for verification
9.	ГОСТ Р 8.635-2007	Государственная система обеспечения единства измерений. Микроскопы сканирующие зондовые атомно-силовые. Методика калибровки State system for ensuring the uniformity of measurements. Atomic-force scanning probe microscopes. Methods for calibration
10.	ГОСТ Р 8.636-2007	Государственная система обеспечения единства измерений. Микроскопы электронные растровые. Методика калибровки State system for ensuring the uniformity of measurements. Scanning electron microscopes. Methods for calibration
11.	ГОСТ Р 8.644-2008	Государственная система обеспечения единства измерений. Меры рельефные нанометрового диапазона с трапецидальным профилем элементов. Методика калибровки State system for ensuring the uniformity of measurements. Nanometer range relief measures with trapezoidal profile of elements. Methods for calibration
12.	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 State system for ensuring the uniformity of measurements. Interplanar spacings in crystals and the intensity distribution in diffraction patterns. Methods for measurement by means of an electron diffractometer
13.	ГОСТ Р 8.697-2010	Государственная система обеспечения единства измерений. Межплоскостные расстояния в кристаллах. Методика выполнения измерений с помощью просвечивающего электронного микроскопа State system for ensuring the uniformity of measurements. Interplanar spacings in crystals. Methods for measurement by means of a transmission electron microscope
14.	ГОСТ Р 8.698-2010	Государственная система обеспечения единства измерений. Размерные параметры наночастиц и тонких пленок. Методика выполнения измерений с помощью малоуглового рентгеновского дифрактометра State system for ensuring the uniformity of measurements. Dimensional parameters of nanoparticles and thin films. Methods for measurement by means of a small angle X-ray scattering diffractometer
15.	ГОСТ Р 8.700-2010	Государственная система обеспечения единства измерений. Методика измерений эффективной высоты шероховатости поверхности с помощью сканирующего зондового атомно-силового микроскопа State system for ensuring the uniformity of measurements. Methods of surface roughness effective height measurements by means of scanning probe atomic force microscope
16.	ГОСТ ISO/TS 27687-2014	Нанотехнологии. Термины и определения нанообъектов. Наночастица, нановолокно и нанопластина Nanotechnologies. Terms and definitions for nano-objects. Nanoparticle, nanofibre and nanoplate

Рис.13. Динамика объема экспорта российской продукции наноиндустрии с учетом вклада группы "РОСНАНО"
 Fig.13. Dynamics of volume of exports of Russian nanotechnology products, taking into account contribution of RUSNANO

По общему объему заказов на НИР, ОКР и ОТР, связанные с нанотехнологиями, лидируют Центральный и Северо-Западный федеральные округа. Более всего продукции наноиндустрии было отгружено в обрабатывающих производствах, в основном это производство кокса и нефтепродуктов, химия, металлургия и производство готовых металлических изделий.

Обобщающие графики представлены на рис.12 и 13.

По направлению деятельности АО "РОСНАНО" в 2007-2015 годы (накопленным итогом, по состоянию на 31 декабря 2015) [4], оказана поддержка 107 инвестиционным проектам при общем объеме инвестиций в портфельные компании и фонды более 175,5 млрд руб., включая 157,5 млрд руб. прямых инвестиций

и 18,0 млрд руб. – в рамках фондов. Общий бюджет указанных проектов (по оценкам УК "РОСНАНО") ориентировочно составляет более 500 млрд руб. В результате реализации инвестиционных проектов АО "РОСНАНО", по состоянию на 31 декабря 2015 года [4], на территории РФ состоялось 68 пусков новых производств и R&D центров.

География наноиндустрии достаточно широка. Выпуск товаров и услуг, связанных с нанотехнологиями, в 2015 году осуществляли предприятия и организации, расположенные в 55 российских регионах. Наибольшее количество предприятий и организаций наноиндустрии сосредоточено в следующих субъектах Российской Федерации: Москва – 139; Республика Татарстан – 86; Санкт-Петербург – 46; Московская

Таблица 5. Динамика инвестиционного портфеля АО "РОСНАНО" за период с 31 декабря 2013 по 31 декабря 2015 [4]
 Table 5. Dynamics of investment portfolio of RUSNANO for the period from December 31, 2013 to December 31, 2015 [4]

Тип/стадия инвестирования Type / stage of investment	Количество проектов Number of projects			Профинансировано (млрд руб.) Amount of financing (billion rubles)			Обязательства (млрд руб.) Liabilities (billion rubles)		
	2015	2014	2013	2015	2014	2013	2015	2014	2013
Стадия роста Stage of growth	58	61	63	100,8	96,2	94,9	108,2	103,9	121,4
Венчурная стадия Venture stage	24	25	26	34,3	28,5	24,5	41,1	31,8	27,2
Фонды Foundations	9	10	10	18	16	12,3	22,2	23,2	25,5
Всего Total	91	96	99	153,1	140,7	131,7	171,5	158,9	174,1

Таблица 6. Структура портфеля прямых инвестиций АО "РОСНАНО" по отраслям [4]

Table 6. Structure of direct investments of RUSNANO by industry [4]

Отрасль Industry	Число проектов Number of projects			Объем инвести- ций (млрд руб.) Volume of investments (billion rubles)		
	2015	2014	2013	2015	2014	2013
Энергетика Power engineering	6	8	9	32,4	31,6	42,6
Электроника Electronics	20	20	22	37,0	34,7	31,0
Здравоохранение Healthcare	14	14	14	13,3	11,2	9,6
Промышленные материалы Industrial materials	7	9	10	7,1	9,7	10,1
Строительные материалы Construction materials	7	8	8	11,3	11,0	9,6
Машиностроение Mechanical engineering	11	11	12	9,9	8,7	6,8
Металлургия Metallurgy	6	6	5	14,8	10,7	3,7
Биотехнологии Biotechnology	3	3	3	2,6	2,6	2,6
Химия и нефтехимия Chemistry and petrochemistry	5	4	2	4,9	2,7	0,6
Прочие Other	3	3	4	1,8	1,8	2,5
Всего Total	82	86	89	135,1	124,7	119,3

область – 24; Новосибирская область – 23; Свердловская область – 21; Томская область – 17; Владимирская область – 13; Пермский край – 12; Самарская область – 11.

По состоянию на 31 декабря 2015, инвестиционный портфель АО "РОСНАНО" [4] включал 91 проект, в том числе 58 – на стадии роста и 24 – на венчурной стадии. По объему обязательств 72,5% портфеля прямых инвестиций АО "РОСНАНО" составляют проекты на стадии роста, 27,5% – проекты на венчурной стадии. Динамика инвестиционного портфеля АО "РОСНАНО" за период с 31 декабря 2013 по 31 декабря 2015 и его структура на конец отчетных периодов приведена в табл.5.

Объем портфеля прямых инвестиций АО "РОСНАНО" на 31 декабря 2015 года составил 149,3 млрд руб. Распределение проектов портфеля

по приоритетным стратегическим отраслям инвестирования приведено в табл.6.

Количество созданных новых рабочих мест в портфельных компаниях АО "РОСНАНО" составило [4] около 28,5 тыс., из которых 1,1 тыс. (около 4%) – высококвалифицированные работники, занятые НИОКР. При поддержке ФИОП создано около 1,9 тыс. рабочих мест.

С 2008 года по настоящее время Внешэкономбанк [13] финансирует проект с экспортным потенциалом "Создание производства субмикронных полупроводниковых компонентов", инициатором которого является АО "Ангстрем-Т". Целью проекта является создание в Зеленограде высокотехнологичного контрактного производства субмикронных полупроводниковых компонентов с топологическими нормами 90–130 нм. Мощность производства составит 200 тыс. пластин в год. Общий объем финансирования проекта Внешэкономбанком – 815 млн евро. Проект направлен на развитие инноваций в электронной промышленности, импортозамещение микроэлектронных компонентов. В настоящее время полностью создана инфраструктура для производства микроэлектронной компонентной базы, завершены строительно-монтажные работы, завезено и установлено оборудование, тестируются инженерные системы, активно ведутся пуско-наладочные работы. Проект позволит заместить до 80% импортных интегральных схем в ключевых отраслях промышленности (транспорт всех видов, связь различного назначения, телекоммуникации и пр.), а также даст возможность дальнейшей модернизации в российском приборостроении. До 50% производимой продукции планируется экспортировать в страны Азии и США.

Участники круглого стола на тему "Проблемы нормативного правового обеспечения развития национальной наноиндустрии, в том числе продвижения на отечественном рынке нанотехнологической продукции" в целом удовлетворительно оценили состояние правового обеспечения развития национальной наноиндустрии, в том числе продвижения на отечественном рынке российской нанотехнологической продукции, что утверждено решением комитета Государственной Думы по науке и наукоёмким технологиям от 2 декабря 2015 года № 87-2.

Информационное обеспечение ПРН осуществляется на федеральном интернет-портале "Нанотехнологии и наноматериалы" (<http://www.portalnano.ru>) [14]. Другие источники информации для развития ННС:

- сайт АО "РОСНАНО" и ФИОП (<http://www.rusnano.com>);

- сайт федеральной целевой программы "Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014–2020 годы" (<http://fcpir.ru>);
- сайт системы экспертиз и подачи предложений по формированию тематики по приоритетному направлению "Индустрия наносистем" ФГБНУ "Дирекция научно-технических программ" (<http://sstp.ru>);
- сайт сетевой системы подготовки кадров в области наноиндустрии (<http://www.nano-obr.ru>).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, на втором этапе выполнения президентской инициативы достигнуты следующие результаты:

- сформирована современная инфраструктура наноиндустрии на уровне экономически развитых стран, включая ее приборно-инструментальную, информационно-аналитическую и методическую составляющие путем создания развитой ННС;
- сформированы условия устойчивого функционирования и развития системы подготовки, переподготовки и закрепления кадров для обеспечения эффективности исследований и разработок в области наноиндустрии;
- осуществляется развитие исследований и разработок, обеспечивающих создание новых конкурентоспособных нанотехнологий и видов нанотехнологической продукции, которые могут быть доведены до промышленного внедрения и производства в течение двух-трех лет;
- создана система содействия продвижению продукции наноиндустрии на внутренний и внешний рынки, системы обеспечения единства измерений, стандартизации, оценки соответствия и безопасности в наноиндустрии с целью кардинального увеличения объемов производства уже выпускаемой и востребованной продукции нанотехнологий;
- сформированы институциональные условия для масштабного наращивания объема производства новых видов продукции наноиндустрии и выхода профильных российских компаний на мировой рынок высоких технологий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Семин А.А., Малахов А.А., Борисов К.Е. Пять лет национальной нанотехнологической сети: итоги и перспективы // Сб. информационно-аналитических материалов. – М.: Министерство образования и науки Российской Федерации, 2015. 68 с.
2. Научно-технические отчеты "Проведение исследований, направленных на формирование оценки и мониторинга результативности проведения мероприятий по реализации президентской инициативы "Стратегия развития наноиндустрии" по Государственным заданиям ФГБНУ "Дирекция научно-технических программ" № госрегистрации 01201354161 (2014 г.), 114031740018 (2015 г.), АААА-А16-116031510030-3 (2016 г.).
3. Письмо заместителя министра здравоохранения Российской Федерации С.А.Краевого от 29 июля 2016 г. № 27-О/10/2-4720.
4. Письмо заместителя генерального директора по стратегии Фонда инфраструктурных и образовательных программ А.Р.Качая от 11 июля 2016 г. № 0711/ФО2-АРК в составе письма заместителя министра Министерства экономического развития Российской Федерации С.В.Шипова от 4 августа 2016 г. № 23345-СШ/ДОЧ.
5. Письмо заместителя министра промышленности и торговли Российской Федерации А.И.Богинского от 1 августа 2016 г. №БА-47652/11.
6. Протокол заседания Совета национальной нанотехнологической сети от 27 мая 2014 г. (Председатель – Л.М.Огородова, секретарь – А.А.Семин).
7. Письмо директора ФГБНУ "Государственный научно-методический центр" П.Г.Сороколетова от 29 июля 2016 г. №48/07.
8. Письмо заместителя директора по международной деятельности НИЦ "Курчатовский институт" М.В.Попова от 29 февраля 2016 г. № МВП-1930/08.
9. Письмо Руководителя Роспотребнадзора России А.Ю.Попова от 23 июня 2016 г. № 01/8023-16-23.
10. Письмо начальника Управления контроля, надзора и правовой защиты интересов государства Роспатента России А.В.Солоновича от 08 июля 2016 г. № 09/4-06/7319.
11. Письмо заместителя руководителя Росстандарта России А.П.Шалаева от 29 июля 2016 г. № Ш-11044/03.
12. Письмо начальника Управления статистики образования, науки и инноваций Росстата России О.Ю.Дудоровой от 10 июня 2016 г. №19-19-1/1687-МВ.
13. Письмо директора Департамента финансирования экспорта ГК "Банк развития внешнеэкономической деятельности" Д.В.Алгульян от 26 июля 2016 г. № 509/280500.
14. Тихонов А.Н., Скуратов А.К., Захаревич Е.В., Захарова О.К. Интернет-портал для ННС // Журнал "Российские нанотехнологии", май-июнь 2009. Т. 4. № 5–6. С. 46–49. ISBN 1992-7223.