

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Московский физико-технический институт
(государственный университет)»

Доклад по результатам НИР в рамках комплекса работ по долгосрочному прогнозу
важнейших направлений научно-технологического развития на период до 2030 года

**Формирование сети отраслевых центров прогнозирования научно-технологического
развития на базе ведущих российских вузов по приоритетному направлению**

«ИНДУСТРИЯ НАНОСИСТЕМ»

Шифр «2011-2.1-521-012-003»

Результаты работы в 2011 году:

Этап № 1: «Создание основы формируемой на основе ведущих российских вузов сети
отраслевых центров прогнозирования научно-технологического развития по
приоритетному направлению «Индустрия наносистем»

Этап № 2: «Создание условий для эффективной деятельности формируемой на основе
ведущих российских вузов сети отраслевых центров прогнозирования научно-
технологического развития по приоритетному направлению «Индустрия наносистем»

Государственный контракт от 30 мая 2011 г. № 13.521.12.1005

1. Основные цели и задачи работы

Начиная со второй половины XX века прогнозирование развития высокотехнологичных отраслей играет важную роль в государственной и корпоративной политике. Адекватный научно-технический прогноз позволяет минимизировать риски при формировании стратегии развития, распределении ресурсов, организации проектов и т.д.

По этой причине во всем мире прогнозированию уделяют большое внимание как правительства, так и крупные производственные компании. В России по заданию Министерства образования и науки также проводится целый комплекс долгосрочных прогностических работ (см. рис.1), свои исследования проводят бизнес-структуры, например, компания «Роснано». На проходившем 24 ноября 2011 г. конкурсе-выставке «Roadmap 2011» участвовали 22 российские компании, представившие 27 дорожных карт инновационного развития.



Рис.1. Реализуемый в России комплекс долгосрочных прогностических работ.

Особенно важен грамотный прогноз для таких наукоемких и капиталоемких отраслей, которые относятся к приоритетному направлению «Индустрия наносистем». Приступая к прогнозированию, важно хорошо понимать необходимость грамотного

выстраивания и поддержания прогнозной инфраструктуры. Должна быть создана методическая и организационная основа работ по мониторингу и анализу, а также сеть региональных центров прогнозирования, объединяющая научно-исследовательские организации и предприятия реального сектора экономики, производящие и потребляющие продукцию отрасли. Так как прогнозирование во многом основано на экспертных методах, необходимо также создать сеть экспертов и сформировать механизмы ее работы. Данное исследование ориентировано в первую очередь на решение соответствующих инфраструктурных задач. Необходимо провести мониторинг текущего состояния наноиндустрии, изучить ее структуру, определив наиболее важных игроков отрасли среди исследовательских групп и предприятий реального сектора экономики для их последующего объединения в прогностическую сеть на базе ведущих российских вузов. Выявив области компетенции вузов, мы сможем кластеризовать сеть в соответствии с общей отраслевой структурой.

Помимо сети региональных центров прогнозирования, объединяющей ведущие организации и коллективы, должна быть создана экспертная сеть, включающая наиболее значимых в своих областях исследователей и производителей. Для экспертной сети также должны быть сформулированы методы и критерии отбора участников, а также общие механизмы работы.

Поскольку прогнозирование является достаточно специфической областью исследований, на координатора сети ложится задача по обучению экспертов и сотрудников отраслевых центров прогнозирования методике проведения подобных работ в рамках различных семинаров и тренингов.

Результатом деятельности сети в рамках проекта должен стать анализ уровня научных исследований и состояния производственной отрасли, а также выявление основных тенденций развития. При этом важно проследить взаимосвязь между приоритетными и базисными технологиями, выявить критические технологии и по возможности соотнести перспективные с научной точки зрения технологии с их маркетинговыми показателями. Созданные материалы должны носить публичный характер: публиковаться в СМИ, на тематических порталах Интернета, в научных журналах, а также представляться на научных и бизнес-конференциях.

Полученные результаты лягут в основу долгосрочных прогнозов развития отрасли до 2030 г. и технологических дорожных карт.

2. Методика проведения работы (методологические подходы) и используемая база данных

Прогностическая сеть, создающаяся в ходе работ, должна состоять из отраслевых центров прогнозирования по соответствующим предметным направлениям.

Координатором сети отраслевых центров прогнозирования по направлению «Индустрия наносистем» в целом является МФТИ.

Каждый отраслевой центр прогнозирования формируется вокруг головного вуза (координатора отраслевого центра прогнозирования) с привлечением представителей отечественного сектора генерации знаний и реального сектора экономики. Задачей каждого отраслевого центра прогнозирования является ведение мониторинга научно-технологического развития, Форсайт и построение технологических дорожных карт по своему предметному направлению, а также публикация полученных результатов.

Определение вузов, входящих в состав отраслевых центров прогнозирования, и выбор головного вуза (координатора отраслевого центра прогнозирования) осуществляется на основе анализа их сфер компетенции по факту участия в 2010-2011 гг. в ФЦП «Исследования и разработки», ФЦП «Нано», ФЦП «Кадры», ФЦП «Национальная технологическая база», ФЦП «Электронная компонентная база», по количеству и объему заключенных в рамках этих конкурсов контрактов, а также на основании опроса экспертов. Также принимается во внимание участие вуза в Национальной нанотехнологической сети и победы в конкурсах, проведенных в рамках 218, 219 и 220-го Постановлений Правительства.

По результатам проведения указанных мероприятий предполагается запустить работу по выявлению центров превосходства, представляющих собой коллективы, обладающие передовой в стране или мире компетенцией в рамках одного или нескольких направлений индустрии наносистем. Выявление центров превосходства будет проходить на основе анализа количества публикаций, числа патентов, количества и объемов выполненных работ в рамках направления «Индустрия наносистем», а также на основании опроса экспертов.

Проведение работ по прогнозированию научно-технологического развития предполагает проведение большого количества рабочих встреч с различными категориями экспертов, формирование постоянно действующих коммуникационных площадок с участием представителей органов управления, ведущих НИИ и вузов, крупных компаний,

бизнес-ассоциаций, технологических платформ, проведение экспертных опросов, глубинных интервью, заседаний экспертных панелей, мозгового штурма, а также выполнение аналитических работ (например, библиометрический и патентный анализы).

Основным методом работы с экспертами предполагается метод Дельфи. Отбор экспертов будет осуществляться по двум ключевым интегральным критериям: признание научным сообществом и компетенция. Признание научным сообществом характеризуется наличием ученой степени/звания, количеством публикаций, патентов, авторских свидетельств и т.п., индексом цитируемости, наличием наград, участием в выставках и конференциях. Компетенция определяется участием и ролью в фундаментальных и прикладных исследованиях и разработках, особенно по заказам реального сектора экономики, их успешностью, опытом работы в отрасли и занимаемой должностью.

Пул экспертов будет формироваться из числа представителей органов управления, ведущих НИИ и вузов, крупных компаний, бизнес-ассоциаций, технологических платформ по приоритетному направлению «Индустрия наносистем». Отбор экспертов будет осуществляться в три этапа: отбор кандидатов в экспертную сеть; сбор информации о кандидатах; отбор и приглашение экспертов. Предполагается, что экспертная сеть будет двухуровневой. В зависимости от квалификации эксперты будут отнесены к одной из двух категорий: составителей и рецензентов информационно-аналитических материалов.

Основным источником для определения уровня и области компетенции как экспертов, так и коллективов, претендующих на роль центров превосходства, является анализ их публикационной активности и различных показателей цитируемости по системам eLibrary и WebofScience. Эти же источники используются и для проведения библиометрического анализа.

Одним из важнейших направлений работы отраслевых центров прогнозирования является мониторинг научно-технологического развития. Под мониторингом научно-технологического развития понимается деятельность по формированию актуального образа текущего состояния дел в области разработки и внедрений новых технологий и выводу новых продуктов и услуг на рынок. Целью мониторинга научно-технологического развития является обеспечение процессов принятия решения или прогнозирования актуальной информацией о текущем состоянии дел в области разработки и внедрения новых технологий и выводу новых продуктов и услуг на рынок.

Система мониторинга научно-технологического развития будет функционировать в непрерывном режиме на основе единых стандартов и регламентов организации работы, содержание которых планируется доносить путем проведения серии обучающих

тренингов до участников сети отраслевых центров прогнозирования. Для проведения указанных тренингов будут привлекаться ведущие отечественные и зарубежные эксперты в области долгосрочного прогнозирования научно-технологического развития, организации Форсайт-проектов, проведения экспертных исследований, построения дорожных карт и формирования технологических платформ.

Распространение материалов, подготавливаемых участниками сети отраслевых центров прогнозирования, будет проведено с использованием следующих форм: организация регулярных презентаций и обсуждений результатов прогнозов научно-технологического развития в разрезе соответствующих технологических направлений и отраслей; подготовка регулярных информационно-аналитических обзоров по глобальным тенденциям научно-технологического развития отраслей. Кроме того, распространение материалов предполагается осуществлять с использованием профильных информационных порталов в сети Интернет, таких как innoedu.ru, www.portalnano.ru, www.rusnanonet.ru и др.

3. Ключевые результаты работы

В рамках решения сформулированных выше задач по формированию прогнозной инфраструктуры в течение 2011 года был выполнен ряд работ по регламентации деятельности сети, по определению структуры отрасли, по выявлению центров превосходства и областей компетенции ведущих вузов и т.д.

Для описания сфер компетенции ведущих ВУЗов была проанализирована активность их участия в конкурсах на право заключения государственных контрактов на выполнение исследований и разработок, а также на выполнение образовательных проектов.

Кроме того, в части кооперации ВУЗов с реальным сектором экономики проанализированы результаты включения ВУЗов в программы инновационного развития компаний с государственным участием.

Результаты анализа указанных федеральных целевых программ в части образовательных проектов графически представлены на рисунке (см. рис.2)

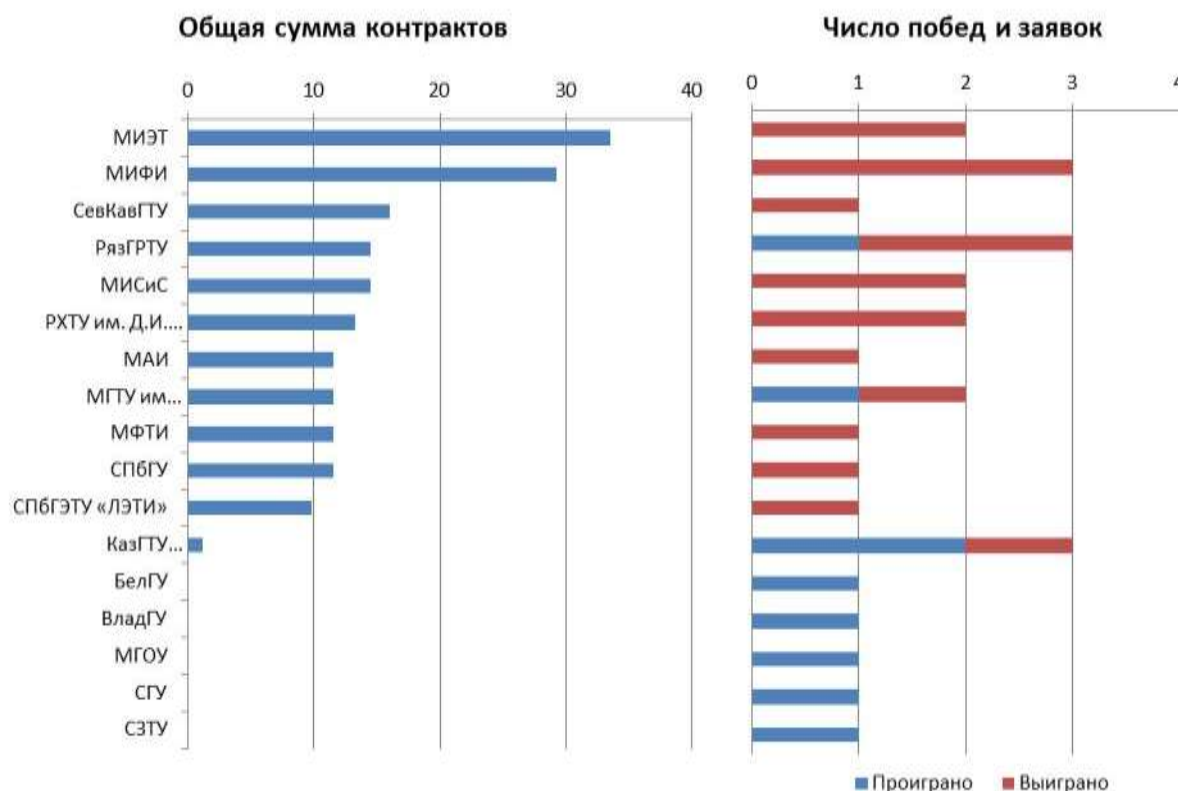


Рисунок 2 – Участие ВУЗов 2010-2011 гг. в конкурсах в рамках ФЦП в части образовательных проектов

Первый столбец указанного рисунка (см. рисунок 2) показывает суммарный объем выигранных государственных контрактов по указанным выше ФЦП в части образовательных проектов, а второй – количество участия и количество побед по соответствующим ВУЗам (данные приведены по всем ВУЗам – участникам конкурсов).

Результаты анализа указанных федеральных целевых программ в части исследований и разработок графически представлены на рисунке (см. рисунок 3). Первый столбец указанного рисунка показывает суммарный объем выигранных государственных контрактов по указанным выше ФЦП в части исследований и разработок, а второй – количество участия и количество побед по соответствующим ВУЗам (данные приведены только по ВУЗам, выигравшим хотя бы один конкурс).

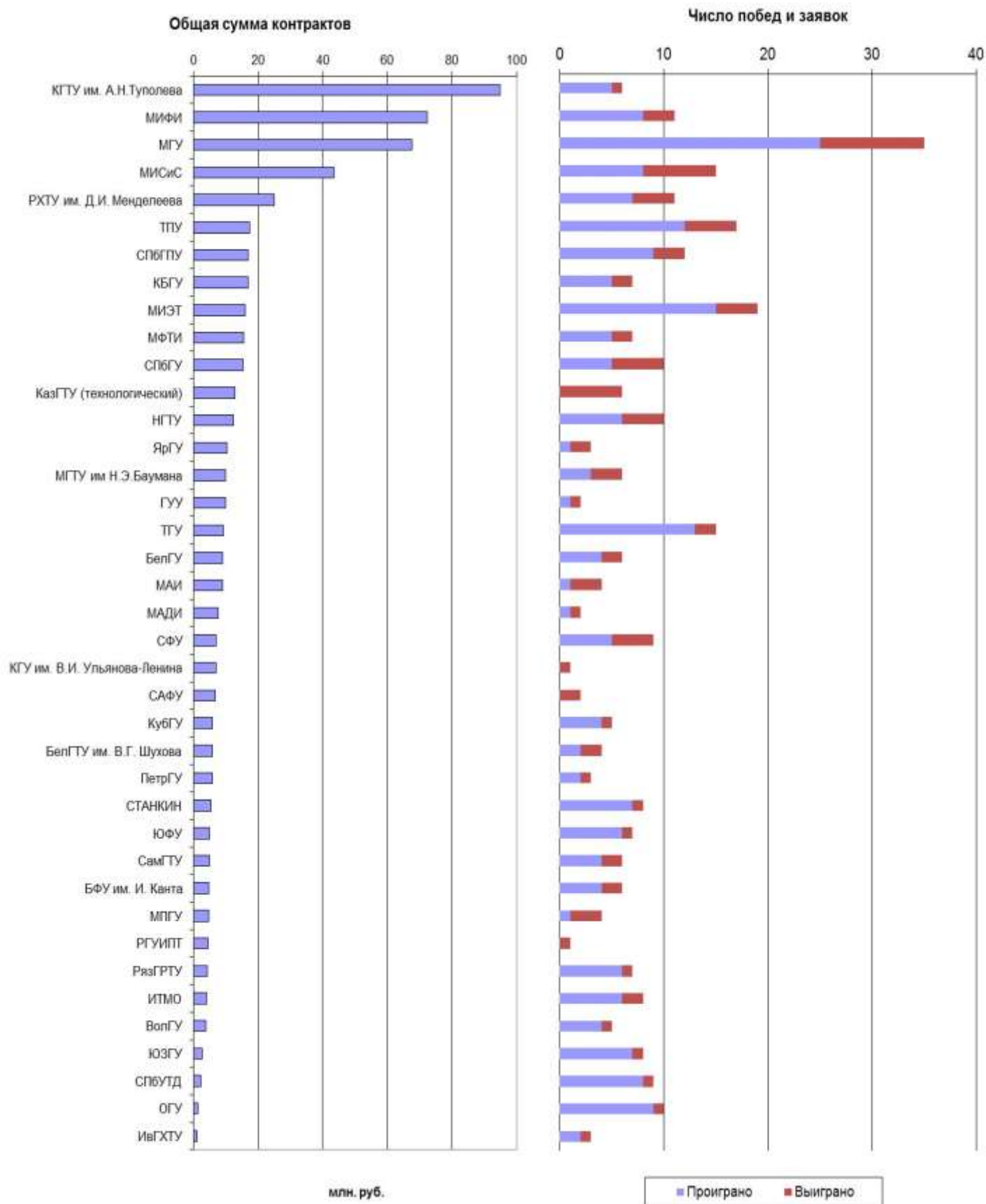


Рисунок 3 – Участие ВУЗов 2010-2011 гг. в конкурсах в рамках ФЦП в части исследований и разработок

В целях распределения ВУЗов по перспективным направлениям был создан классификатор по приоритетному направлению «Индустрия наносистем». Разработанный классификатор включает три основных раздела классификации (по продуктовой направленности (раздел «Продукты»), по технологиям производства (раздел «Технологии производства»), по направлению исследований (раздел «Научные исследования»), а также две обособленные области (нанометрология и безопасность в сфере нанотехнологий). Каждый раздел классификатора разделен на подразделы, содержащие методы производства наносистем (для раздела «Технологии производства»), продуктовые группы (для раздела «Продукты»), направления исследований (для раздела «Научные исследования»).

При разработке классификатора использовались как уже имеющиеся на сегодняшний день классификаторы для «Индустрии наносистем», так и опросы экспертов в предметной области. В результате итеративной процедуры разработки был получен следующий классификатор для «Индустрии наносистем»:

1 Технологии производства

1.1 Методы нанесения элементов наноструктур и наноматериалов

1.1.1 Физические методы (лазерные, электронно-лучевые, ионно-плазменные) осаждения слоев нанометровых толщин:

1.1.1.1 поликристаллических

1.1.1.2 эпитаксиальных

1.1.2 Технологии, основанные на синергизме физических воздействий

1.1.2.1 Термические

1.1.2.2 Микроволновые

1.1.2.3 Ультразвуковые

1.1.2.4 Оптические

1.1.2.5 Радиационные

1.1.3 . Химическое, термическое и электродуговое осаждение из газовой фазы (в том числе CVD, EVD, MoCVD, PVD и аналоги)

1.1.3.1 поликристаллические слои

1.1.3.2 эпитаксиальные слои

1.1.4 Технология Лэнгмюра-Блоджетт

1.1.5 Химическое осаждение из растворов

1.1.6 Электроосаждение

1.1.7 Использование наноманипуляторов и зондов

1.1.8 Плазмохимическое, ионно - и электронно-лучевое модифицирование поверхности

1.1.9 Методы, основанные на специфических взаимодействиях биологических молекул.

1.1.10 Атомно-слоевое осаждение

1.2 Управляемые методы формирования наноструктур

1.2.1 Оптическая литография субмикронного разрешения

1.2.2 Электронная литография

1.2.3 Рентгеновская литография

1.2.4 Наноимпринтинг и травление

- 1.2.5 Фокусированная ионная резка
- 1.2.6 Планиризация поверхности, полировка
- 1.2.7 Поверхностная иммобилизация (химическая пришивка) молекул
- 1.2.8 Локальные поверхностные химические реакции.
- 1.2.9 Нанокapsулирование
- 1.2.10 Иммобилизация мицелл и биологических нанобъектов
- 1.2.11 Технологии самосборки
- 1.2.12 Другие методы

1.3 Методы формирования наноматериалов

- 1.3.1 Золь-гель-технологии
- 1.3.2 Механохимия
- 1.3.3 Криохимия
- 1.3.4 Темплейтные техники в жидких средах (химическое и электроосаждение)
- 1.3.5 Электрофорез
- 1.3.6 Керамические методы (спекание, прессование, самораспространяющийся синтез и т.п.)
- 1.3.7 Детонационные методы
- 1.3.8 Интенсивные пластические деформации
- 1.3.9 Формирование наноматериалов с использованием биологических систем и/или методов
- 1.3.10 Спрей-пиролиз

1.4 Другие технологии и оборудование

2 Продукт

2.1 Функциональные наноматериалы

- 2.1.1 Катализаторы на носителях
- 2.1.2 Интеркаляционные материалы и твердые электролиты для химических источников тока, конденсаторов и т.д.
- 2.1.3 Сенсорные нанокомпозиты

2.1.4 Водород-абсорбирующие наноматериалы (гидридообразующие интерметаллиды и аналоги)

2.1.5 Наноструктурированные металлы и сплавы с особыми механическими свойствами

2.1.6 Слоистые магнитные материалы и сверхрешетки

2.1.7 Наноструктурированные керамические и композиционные материалы и покрытия, в том числе оптически прозрачная нанокерамика; пьезо- и сегнето-нанокерамика; конструкционная нанокерамика, биосовместимая нанокерамика и покрытия, наноматериалы с заданными ядерно-физическими свойствами.

2.2 Высокодисперсные, высокопористые и другие традиционные материалы, включающие субмикронные фрагменты

2.2.1 Сорбенты на основе коллоидных систем

2.2.2 Углеродные материалы

2.2.3 Наноструктурированные полимеры, волокна и композиты на их основе

2.2.4 Другие пористые материалы, в том числе фильтры.

2.3 Нанoeлектроника: физические принципы и объекты новой цифровой наноэлектроники

2.3.1 Полупроводниковые наногетероструктуры (квантовые точки и квантовые проволоки на основе двумерного электронного газа)

2.3.2 Низкоразмерные углеродные структуры (нанотрубки, графен, фуллерены)

2.3.3 Нанотрубки и двумерные слои на основе неуглеродных материалов.

2.3.4 Спинтронные устройства (на основе магнитных и немагнитных гетероструктур)

2.3.5 Кристоэлектроника и флюксонные устройства на основе сверхпроводящих (джозефсоновских) наноструктур

2.3.6 Одноэлектронные устройства (SET - транзисторы, нано-электрометры, микрокулеры, болометры)

2.4 Объекты для квантовых вычислений и квантовых телекоммуникаций

2.4.1 Сверхпроводниковые квантовые логические устройства (кубиты)

2.4.2 Кубиты на основе электронных спинов в квантовых точках и фуллеренах

2.4.3 Кубиты на основе электромагнитных ловушек для атомов и ионов

2.4.4 Одноэлектронные (зарядовые) кубиты

2.4.5 Считывающие и интерфейсные устройства к кубитам

2.4.6 Устройства для квантовой криптографии

2.5 Нанoeлектронные источники и детекторы

2.5.1 Светодиоды на основе полупроводниковых гетероструктур

2.5.2 Органические светодиоды

2.5.3 Твердотельные и органические лазеры

2.5.4 Элементы солнечной энергетики

2.5.5 Полупроводниковые и сверхпроводниковые однофотонные детекторы, матричные детекторы электромагнитных сигналов, тепловизоры высокого разрешения

2.5.6 Полупроводниковые и сверхпроводниковые источники и детекторы терагерцового диапазона

2.5.7 Электронные эмиттеры на основе нанотрубок и других нано-объектов

2.5.8 Детекторы и стандарты электромагнитных сигналов; эталоны тока, напряжения, сопротивления на основе сеток наноэлементов.

2.5.9 Сверхчувствительные магнитные детекторы на основе SQUID

2.5.10 Сверхчувствительные SET-электрометры

2.5.11 Квантовые электронные насосы

2.6 Нанofотоника и коротковолновая нелинейная оптика

2.6.1 Нанообъекты и устройства ближкопольной оптики

2.6.2 Нелинейные оптические преобразователи и волноводы

2.6.3 Рентгеновские линзы

2.6.4 Фотонные кристаллы

2.6.5 Искусственные среды с отрицательным коэффициентом преломления (метаматериалы)

2.7 Сенсоры на основе наноструктур и наноматериалов

2.7.1 Резистометрические газовые сенсоры на основе нанокристаллических материалов

2.7.2 Ферментные сенсоры и другие биосенсоры

2.7.3 Сенсоры на основе каталитических и электрокаталитических процессов

2.7.4 Оптические сенсоры

2.7.5 Молекулярное распознавание с применением наноматериалов.

2.8 Бионанотехнологии

2.8.1 Выделение и иммобилизация биологических веществ с применением наноматериалов

2.8.2 Диагностические методы с применением фиксированных наноструктур

2.9 Наномедицина и диагностика

2.9.1 Лекарственные наноматериалы

2.9.2 Биомиметические наноматериалы

2.9.3 Вакцины на наноплатформах

2.9.4 Диагностические методы на микро(нано) флюидной основе

2.9.5 Нанокapsулирование лекарственных препаратов

2.10 Микро- и нано-механика, нанотрибология и нанофлюидика

2.10.1 Микромеханические системы, наноприводы, наноманипуляторы

2.10.2 Микро(нано)электромеханические системы (MEMS/NEMS)

2.10.3 Нанофлюидные теплоносители

2.10.4 Молекулярные моторы

3 Метрология

3.1 Методы диагностики и исследования наноструктур и наноматериалов

3.1.1 Зондовые методы микроскопии и спектроскопии: атомно-силовая, сканирующая туннельная, магнитно-силовая и др.

3.1.2 Сканирующая электронная микроскопия.

3.1.3 Просвечивающая электронная микроскопия, в том числе высокого разрешения

3.1.4 Люминесцентная микроскопия

3.1.5 Дифракционные методы (рентгеновские, электронные, нейтронные)

3.1.6 Рентгеновская спектроскопия (XAS, EXAFS и др.)

3.1.7 Электронная спектроскопия

- 3.1.8 Наногравиметрия (QCN)
- 3.1.9 Магнитно-резонансные методы
- 3.1.10 Методы локального и нелокального (Auger, XPS) анализа поверхности.
- 3.1.11 Терагерцовая спектроскопия
- 3.1.12 Масс-спектрометрия
- 3.1.13 Нелинейно-оптические методы, в том числе рамановская спектроскопия.
- 3.1.14 Фемто- и наносекундная спектроскопия.
- 3.1.15 Биологические методы, основанные на амплификации

3.2 Методы сертифицирования и контроля наноматериалов и диагностики их функциональных свойств

- 3.2.1 Порометрия и определение истинной поверхности
- 3.2.2 Оптический контроль (профилометрия, флуоресценция, эллипсометрия, конфокальная микроскопия)
- 3.2.3 Контроль физических свойств (резистометрия, магнитные измерения)
- 3.2.4 Тестирование функциональных свойств и их стабильности (указать: каталитических, деградационных, механических, трибологических, биологической активности и т.п.)
- 3.2.5 Аналитические методы (в том числе анализ поверхности)
- 3.2.6 Разработка нанометрологических принципов и методик
- 3.2.7 Контроль и тестирование биосовместимости и безопасности наноматериалов

4 Научные исследования

4.1 Наноматериалы

- 4.1.1 Наноматериалы как объект изучения
 - 4.1.1.1 Квантовые размерные эффекты в наноструктурах
 - 4.1.1.2 Биологическая активность наноструктур
 - 4.1.1.3 Методы получения нанообъектов и наноструктур
- 4.1.2 Ансамбли нанообъектов
 - 4.1.2.1 Нанокристаллы и наночастицы (в том числе, квантовые точки)
 - 4.1.2.2 Нанотрубки и нанопроволоки

- 4.1.2.3 Двумерные нанобъекты с характерными толщинами порядка размеров молекул
- 4.1.2.4 Дислокации и другие дефекты твердых тел
- 4.1.3 Наноструктуры
 - 4.1.3.1 Упорядоченные ансамбли (многослойные и многополосные структуры и сетки) одинаковых твердых элементов на подложках
 - 4.1.3.2 Твердотельные гибридные и гетероструктуры на основе полупроводников, металлов и магнетиков (наноструктуры могут состоять и из естественных кристаллов)
 - 4.1.3.3 Наборы нанобъектов контролируемо модифицируемые функциональными молекулами, мицеллами или биологическими объектами субмикронных размеров
- 4.1.4 Объемные наноструктурированные материалы
 - 4.1.4.1 По типу:
 - 4.1.4.1.1 Наночастицы в твердых, полимерных или жидкокристаллических матрицах
 - 4.1.4.1.2 Наночастицы на подложках
 - 4.1.4.1.3 Нанокапсулы
 - 4.1.4.1.4 Слоистые материалы с характерными размерами фрагментов порядка постоянной решетки
 - 4.1.4.1.5 Нанопленки и нанопокрyтия
 - 4.1.4.1.6 Суперкристаллы на основе высокоупорядоченных нанозлементов
 - 4.1.4.1.7 Нанокристаллические композиции
 - 4.1.4.1.8 Гранулированные наноразмерные материалы
 - 4.1.4.1.9 Объекты традиционных технологий («нанопорошки», нанопористые материалы, золи, гели, эмульсии, наногетерогенные полимеры и т.д.)
 - 4.1.4.1.10 Бионаноматериалы и биофункционализированные наноматериалы
 - 4.1.4.2 По составу:
 - 4.1.4.2.1 Металлические
 - 4.1.4.2.2 Полупроводниковые
 - 4.1.4.2.3 Полимерные
 - 4.1.4.2.4 Углеродные

4.1.4.2.5 Керамические

4.1.4.2.6 Оксидные

4.1.4.2.7 Композитные

4.1.4.3 По назначению:

4.1.4.3.1 Конструкционные

4.1.4.3.2 Функциональные

4.1.4.3.3 Катализаторы на носителях

4.1.4.3.4 Интеркаляционные материалы и твердые электролиты (для химических источников тока, конденсаторов и т.д.)

4.1.4.3.5 Сенсорные нанокompозиты

4.1.4.3.6 Водород-абсорбирующие наноматериалы (гидридообразующие интерметаллиды и аналоги)

4.1.4.3.7 Слоистые магнитные материалы и сверхрешетки

4.1.4.3.8 Мультиферроики

4.1.4.3.9 Спинтроники

4.1.4.3.10 Пьезоэлектрики

4.1.4.3.11 Магнитострикторы

4.1.4.3.12 Сверхпроводники

4.1.4.3.13 Термоэлектрики

4.1.4.3.14 Люминесцентные

4.1.4.3.15 Метаматериалы

4.1.4.3.16 Многофункциональные

4.1.4.3.17 Наноструктурированные сорбенты

4.1.4.3.18 Нанопористые мембраны

4.1.5 Детекторные и сенсорные наноструктуры и наноструктурированные материалы

4.1.5.1 Наноструктуры и наноструктурированные материалы для определения химических веществ, в том числе, для молекулярного распознавания

4.1.5.2 Наноструктурированные материалы для контроля изменения физических величин

4.1.6 Другие направления

4.2 Нанoeлектроника

4.2.1 Физические принципы и объекты нанoeлектроники

4.2.1.1 Полупроводниковые наногетероструктуры (квантовые точки и квантовые проволоки)

4.2.1.2 Спинтронные устройства (на основе магнитных и немагнитных гетероструктур)

4.2.1.3 Крeоэлектроника и флюксонные устройства на основе сверхпроводящих (джозефсоновских) наноструктур

4.2.1.4 Одноэлектронные квантовые устройства (SET - транзисторы, нано-электрометры, микрокллеры, болометры)

4.2.2 Базовые элементы вычислительных систем, объекты для квантовых вычислений и квантовых телекоммуникаций

4.2.2.1 Нанoeлементная компонентная база (в том числе, на основе наноразмерных КМОП)

4.2.2.2 Интегральные схемы (в том числе, сверхбольшие интегральные схемы)

4.2.2.3 Сверхпроводниковые квантовые логические устройства (кубиты)

4.2.2.3.1 На основе электронных спинов в квантовых точках и фуллеренах

4.2.2.3.2 На основе электромагнитных ловушек для атомов и ионов

4.2.2.3.3 Одноэлектронные (зарядовые)

4.2.2.3.4 Считывающие и интерфейсные устройства к кубитам

4.2.2.3.5 Устройства для квантовой криптографии

4.2.3 Устройства сверхплотной записи информации

4.2.4 Нанoeлектронные источники и детекторы

4.2.4.1 Электронные эмиттеры на основе нанотрубок и других нано-объектов

4.2.4.2 Стандарты электромагнитных сигналов; эталоны тока, напряжения, сопротивления на основе сеток нанoeлементов

4.2.4.3 Сверхчувствительные магнитные детекторы (например, на основе SQUID)

4.2.4.4 Сверхчувствительные SET-электрометры

4.2.5 Другие направления

4.3 Нанопотоника

4.3.1 Физические основы генерации и поглощения излучения в ультрафиолетовом, видимом и инфракрасном диапазонах в гетероструктурах с квантовыми слоями, нитями и точками

4.3.2 Полупроводниковые и сверхпроводниковые источники и детекторы электромагнитного излучения (в том числе, однофотонные детекторы, матричные детекторы электромагнитных сигналов, тепловизоры высокого разрешения и пр.)

4.3.3 Светодиоды

4.3.3.1 На основе полупроводниковых гетероструктур

4.3.3.2 Органические светодиоды

4.3.4 Твердотельные и органические лазеры

4.3.5 Элементы солнечной энергетики

4.3.6 Наноструктурированные оптические волокна и устройства на их основе

4.3.7 Элементы фотоники и коротковолновой нелинейной оптики

4.3.7.1 Нано-объекты и устройства ближкопольной оптики

4.3.7.2 Нелинейные оптические преобразователи и волноводы

4.3.7.3 Рентгеновские линзы

4.3.7.4 Фотонные кристаллы

4.3.8 Другие направления

4.4 Нанобиотехнологии

4.4.1 Биоэлектромеханические машины

4.4.2 Нанобиоэлектроника и нанобиопотоника

4.4.3 Наноматериалы, полученные с использованием биотехнологий

4.4.4 Другие направления

4.5 Наномедицина

4.5.1 Медицинские методы диагностики

4.5.1.1 Методы интроскопических исследований/визуализации с применением наноматериалов и наноструктур

- 4.5.1.1.1 Контрастные вещества для МРТ, РКТ и УЗИ на основе наноматериалов
- 4.5.1.1.2 Наноразмерные индикаторы для сцинтиграфии
- 4.5.1.2 Молекулярно-биологические методы исследований с применением наноматериалов и наноструктур
 - 4.5.1.2.1 Диагностические методы на микро-(нано-)флюидной основе
 - 4.5.1.2.2 Диагностические наносенсоры и нанодатчики
 - 4.5.1.2.3 Диагностические методы на основе микро- и наноэррейных технологий
 - 4.5.1.2.4 Биочипы
 - 4.5.1.2.5 Мультиплексные методы анализа
 - 4.5.1.2.6 Технологии “нано-штрихкода” в диагностике
- 4.5.2 Медицинские нанотехнологии терапевтического назначения
 - 4.5.2.1 Вакцины на наноплатформах
 - 4.5.2.2 Методы клеточной терапии с применением наноматериалов
 - 4.5.2.3 Методы генной терапии с применением наноматериалов
 - 4.5.2.3.1 Векторы на основе наноматериалов
 - 4.5.2.3.2 Антисенс-терапия
 - 4.5.2.3.3 РНК-интерференция
 - 4.5.2.4 Полифункциональные наноматериалы для диагностики и терапии рака
- 4.5.3 Медицинские нанотехнологии хирургического назначения
 - 4.5.3.1 Медицинские нанороботы
 - 4.5.3.2 Применение лазеров в микро-(нано-)хирургии
 - 4.5.3.3 Кровезаменители на основе наноматериалов
 - 4.5.3.4 Наноматериалы для остановки кровотечений
- 4.5.4 Тканевая инженерия и регенеративная медицина
 - 4.5.4.1 Имплантаты и протезы на основе наноматериалов
 - 4.5.4.2 Наноматериалы и наноструктуры для доставки ростовых факторов
 - 4.5.4.3 Полифункциональные наноматериалы для тканевой инженерии и доставки лекарственных средств

4.5.4.4 Трёхмерные матриксы на основе наноматериалов для культивирования клеток

4.5.5 Нанотехнологии в фармакологии и фармацевтике

4.5.5.1 Технологии (адресной) доставки лекарственных средств

4.5.5.2 Создание лекарственных средств на основе

4.5.5.3 Использование скрининговых методов на основе нанотехнологий для создания лекарственных средств

4.5.5.4 Создание лекарственных форм наномасштабных размеров

4.5.5.5 Антидоты на основе наноматериалов

4.5.6 Нанотехнологии в токсикологии

4.5.6.1 Создание систем биоразрушения наноматериалов

4.5.7 Другие направления

5 Безопасность

Как видно из классификатора, продукция нанотехнологий была разделена на 10 основных групп. Адекватность представленной классификации подтвердили опросы экспертов и мониторинг отрасли.

Для повышения скорости построения и запуска кластеров прогнозирования часть продуктовых групп была объединена в соответствующие кластеры:

Таблица 1. Кластеры прогнозирования

| № | Код продуктовой группы | Кластер прогнозирования |
|----------|-------------------------------|---|
| I | 2.1, 2.2 | Наноматериалы. Материалы, включающие субмикронные фрагменты. |
| II | 2.3, 2.4 | Наноэлектроника и квантовые телекоммуникации. |
| III | 2.5, 2.6, 2.7 | Наноэлектронные источники и детекторы. Нанофотоника. Сенсоры на основе наноструктур и наноматериалов. |
| IV | 2.8, 2.9 | Бионанотехнологии, наномедицина и диагностика |

| | | |
|----|------|--|
| V | 2.10 | Микро - и нано-механика, нанотрибология и нанофлюидика |
| VI | нет | Оборудование. Метрология. Безопасность. |

Для каждого кластера были определены соответствующие ему ведущие вузы, исследовательские организации и предприятия – производители и потребители данной продуктовой группы на основании анализа их сфер компетенции.

Таблица 2. Состав кластеров прогнозирования

| Клас тер | Ведущие вузы | Ведущие научные организации | Ведущие предприятия |
|-------------|--|---|---|
| I | АлтГТУ, АГУ, БелГТУ им. В.Г. Шухова, БФУ им. И. Канта, ВлГУ, ВолГТУ, ДВГТУ им. В.В. Куйбышева, ДонГТУ, ИвГХТУ, ИжГТУ, ИрГТУ, КазГАСУ, КазГТУ (технологически й), КГТУ им. А.Н.Туполева, КузГТУ, КФУ, МАДИ, МАИ, МГСУ, МГТУ им Н.Э.Баумана, МГТУ им. Г.И. Носова, МГУ, МИСиС, МИФИ, МИЭТ, МФТИ, МЭИ, НГТУ, ПГПУ им. С.М.Кирова, ПГТА, ПГТУ, ПермГУ, ПетрГУ, РГАТУ им. П.А.Костычева, РГУИПТ, РГУНГ им. И.М.Губкина, РУДН, РХТУ им. Д.И. | ФГУ РНЦ «Курчатовский институт»; ФГУП «Научно-исследовательский физико-химический институт имени Л.Я. Карпова»; ОАО «Государственный научно-исследовательский и проектный институт редкометаллической промышленности»; ФГУП «Государственный научно-исследовательский институт физических проблем имени Ф.В. Лукина»; Центр фотохимии РАН; ОАО НПО «Геофизика»; ФГУП «Центральный научно-исследовательский институт черной металлургии»; Физико-технический институт имени А.Ф. Иоффе РАН; Институт кристаллографии имени А.В. Шубникова РАН; Институт прикладной физики РАН; Институт радиотехники и электроники им. В.А.Котельникова РАН; Институт физики прочности и материаловедения СО РАН; ОАО «Всероссийский научно-исследовательский институт неорганических материалов имени А.А. Бочвара»; ФГУП «ИЦ имени М.В.Келдыша»; ФГУП «Центральный научно-исследовательский институт конструкционных материалов «Прометей»; ФГУП «Всероссийский институт авиационных материалов»; ФГУП «Прикладная химия»; ОАО «Государственный научно-исследовательский институт конструкционных материалов на основе графита»; Казанский научный центр | ОАО «Ассоциация «Аспект»; ФГУП «Центральный научно-исследовательский институт химии и механики»; Институт прикладной физики РАН; ОАО НПО «Геофизика»; ОАО «Концерн «Центральный научно-исследовательский институт «Электроприбор»; ОАО «Ассоциация «Аспект», ОАО «Красный пролетарий»; ОАО «Всероссийский научно-исследовательский институт неорганических материалов имени А.А. Бочвара»; ООО «Владполитекс»; ООО «Научно-производственн |

| | | | |
|-----------|--|--|--|
| | <p>Менделеева, СамГТУ, САФУ, СГАУ им. Ак. М.Ф.Решетнева, СГТУ, СГУ им. Н.Г. Чернышевского, СевКавГТУ, СПБГАСУ, СПБГТИ(ТУ), СПБГУ, СПБУТД, СФУ, ТГУ, ТолГУ, ТПУ, УГАТУ, УлГУ, УрФУ им. Б.Н.Ельцина, ЮЗГУ, ЮРГТУ, ЮУрГУ, ЮФУ</p> | <p>РАН; Научный центр РАН в Черноголовке; Санкт-Петербургский научный центр РАН; Южный научный центр РАН; Троицкий научный центр РАН; Уральское отделение РАН; Сибирское отделение РАН; ФГУП «Научно-исследовательский институт прикладной акустики», Институт молекулярной биологии имени В.А. Энгельгардта РАН (ИМБ РАН), Институт физики полупроводников СО РАН, Институт физики твердого тела РАН, Институт биоорганической химии имени М.М.Шемякина и Ю.А.Овчинникова РАН, Физический институт имени П.Н. Лебедева РАН, Институт радиотехники и электроники РАН, Институт химической физики имени Н.Н.Семенова РАН, Институт металлургии и материаловедения имени А.А. Байкова РАН, Институт общей и неорганической химии имени Н.С. Курнакова РАН, Институт физики микроструктур РАН, Институт проблем химической физики РАН, Институт общей физики РАН имени А.М. Прохорова, Институт спектроскопии РАН, Институт нефтехимического синтеза имени А.В. Топчиева РАН, Институт физики металлов УРО РАН, Институт элементоорганических соединений имени А.Н. Несмеянова РАН, Институт синтетических полимерных материалов имени Н.С.Ениколопова РАН, Институт физической химии и электрохимии имени А.Н. Фрумкина РАН, Институт химии растворов РАН, Институт проблем технологии микроэлектроники и особочистых материалов РАН, Институт химии силикатов имени И.В. Гребенщикова РАН, Институт неорганической химии СО РАН, Институт катализа имени Г.К. Борескова и др.</p> | <p>ое предприятие „НАНОЭЛЕКТРО”; ООО «НТИЦ «Нанотех-ДУБНА»; ЗАО «НикоМаг»; ООО «ДАНАФЛЕКС –НАНО»; ЗАО «Препрег-СКМ»; ЗАО «Метаклэй»; Проектная компания ЗАО «Уралпластик-Н»; ООО «Уником»; ООО «Полярный кварц»; ООО «Германий и приложения»; ООО «Усолье-Сибирский Силикон»; ООО «Хевел»; ООО «Новосибирские наноматериалы» .</p> |
| <p>II</p> | <p>БГПУ им. М. Акмуллы, КФУ, АГУ, КБГУ, МГТУ им. Н.Э.Баумана, МГУ, МИРЭА,</p> | <p>Федеральное государственное унитарное предприятие НИИ «Полюс» им. М.Ф. Стельмаха; Физический институт им. П.Н.Лебедева РАН; Институт физики НАН Украины; Институт лазерной физики СО РАН;</p> | <p>ОАО «Микрон»; ОАО «Ангстрем»; АНО «Институт нанотехнологий МФК»(ИНАТ</p> |

| | | | |
|-----|--|---|--|
| | <p>МИЭМ, МИЭТ, МФТИ, ОмГТУ, РязГРТУ, СамГУ, СГАУ им. С.П. Королева, СГТУ, СГУ им. Н.Г. Чернышевского, СибГДА, СПБГПУ, СПБГЭУ ЛЭТИ, ТУСУР, ЯрГУ</p> | <p>Государственное научно-производственное предприятие «Квант»; ГНЦ «Научно-производственное Объединение «Орион»» Российского агентства по обычным вооружениям; Федеральное государственное унитарное предприятие НИИ «Полюс» им. М.Ф. Стельмаха; ГНЦ «Государственный научно-исследовательский институт физических проблем им. Ф.В.Лукина»; Институт радиотехники и электроники РАН; Физико-технологический институт РАН; Институт проблем технологии микроэлектроники и особо чистых материалов РАН; Объединенный институт ядерных исследований (ОИЯИ); Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт» (НИЦ «Курчатовский институт»).</p> | <p>МФК); ООО «АИСТ-НТ»; ООО «Нано Скан Технология»; ЗАО «Нанотехнология МДТ»; ООО НПП «Центр перспективных технологий»; Концерн «Наноиндустрия»; «СИТРОНИКС-Нано»; ЗАО «Галилео Нанотех»; ООО «МСЛР» ЗАО «Пластик-Лоджик»</p> |
| III | <p>ВГТА, ИТМО, КубГУ, КФУ, МАТИ-РГТУ, МГУ, МИРЭА, МИЭТ, МПГУ, ННГУ им. Н.И.Лобачевского, ОГУ, ПензГУ, РГАТУ им. П.А.Костычева, РХТУ им. Д.И. Менделеева, СГАУ им. Ак. М.Ф.Решетнева, СПБГПУ, СПБГУ, ИТМО, СПБГЭУ ЛЭТИ, ТУСУР</p> | <p>ФГУ РНЦ «Курчатовский институт»; ФГУП «Государственный научно-исследовательский институт физических проблем имени Ф.В. Лукина»; ГОУ ВПО «Московский государственный технический университет имени Н.Э Баумана»; ГОУ ВПО «Московский институт электронной техники»; Технологический центр ГОУ ВПО «Московский институт электронной техники»; ОАО НПО «Геофизика»; ОАО "Концерн "Центральный научно-исследовательский институт "Электроприбор"; Физико-технический институт имени А.Ф. Иоффе РАН; Институт кристаллографии РАН; ГОУ ВПО «Санкт-Петербургский политехнический университет»; ФГУП «Центральный научно-исследовательский институт химии и механики»; Институт прикладной физики РАН; Институт радиотехники и электроники им. В.А.Котельникова РАН; Институт физики прочности и материаловедения СО РАН.</p> | <p>ОАО НПО «Геофизика-НВ»; ЗАО «НТ-МДТ»; ОАО "Концерн "Центральный научно-исследовательский институт "Электроприбор"; ЗАО «Светлана-Оптоэлектроника»; ЗАО «Научное и технологическое оборудование»; ОАО «Красный пролетарий»; ООО «Оптосенс»; ЗАО «САН-НСК»; ООО «Нейтронные технологии»; ООО НТО «ИРЭ-Полюс»; ЗАО «Оптическое волоконные системы»</p> |

| | | | |
|----|--|--|--|
| | | | ЗАО «Профотек»; ОАО «Ситроникс»; ООО «Стереоник». |
| IV | ИТМО, АлтГУ, БелГУ, ВолГУ, ВятГУ, ДВФУ, КазГТУ (технологически й), КБГУ, МГУ, МИСиС, МФТИ, НГУ, РХТУ им. Д.И. Менделеева, СПбПУ, СПБУТД, ТГТУ, ТГУ, ЮРГТУ, ЯГУ | Институт молекулярной биологии имени В.А. Энгельгардта РАН; Институт биоорганической химии имени М.М.Шемякина и Ю.А.Овчинникова РАН; Институт биохимии имени А.Н.Баха РАН; Центр биоинженерии РАН; Институт биологии гена РАН; Институт молекулярной генетики РАН; Институт биологии развития имени Н.К. Кольцова РАН; Институт цитологии РАН; Институт химической биологии и фундаментальной медицины СО РАН; Институт цитологии и генетики СО РАН; Институт белка РАН; Институт теоретической и экспериментальной биофизики РАН; Институт биофизики клетки РАН; Институт медико-биологических проблем РАН; Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН; Институт физиологии имени И.П. Павлова РАН; Институт эволюционной физиологии и биохимии имени И.М. Сеченова РАН; Институт мозга человека РАН; НИИ нормальной физиологии имени П.К.Анохина РАМН; НИИ фармакологии имени В.В.Закусова РАМН; НИИ нейрохирургии имени Н.Н.Бурденко РАМН; НИИ неврологии РАМН; Научный центр психического здоровья РАМН; Московская медицинская академия имени И.М.Сеченова; ГОУ ВПО «Российский государственный медицинский университет имени Н.И. Пирогова»; Институт химической физики имени Н.Н.Семенова РАН; НИИ нейрокибернетики имени А.Б. Когана; Институт проблем передачи информации имени А.А.Харкевича РАН; Физико-технический институт имени А.Ф. Иоффе РАН | ЗАО «Трекпорттехнолоджи»; ООО «Бебиг»; ООО «НТфарма»; ООО «ГемаКор»; ЗАО «Эрбитек»; ООО «Росана»; BiOptixDiagnostics, Inc.; ООО «Нано-Лаб»; OLMIX; Академия биосенсоров; НПП «Аквапаст»; Группа компаний «Биотехнологический холдинг «АлкорБио»; ООО «БиоГениус ПЛЮС»; ЗАО «БИОМИР сервис»; Научно-производственный центр «ВЕЛТ»; НПО «Катализ»; ООО «Ниармедик плюс»; ОАО «Фармсинтез»; ООО «Синбио». |
| V | ТПУ, КузГТУ, МГТУ им | Институт проблем механики РАН РФ, Российский научный центр | |

| | | | |
|----|-----------------------------------|---|--|
| | Н.Э.Баумана, МФТИ, СФУ, ЮФУ | «Курчатовский институт», РНЦ «Центральный научно- исследовательский институт химии и механики» | |
| VI | МГУ, МГТУ им. Н. Э. Баумана | Казанский научный центр РАН; Научный центр РАН в Черноголовке; Санкт-Петербургский научный центр РАН; Южный научный центр РАН; Троицкий научный центр РАН; Уральское отделение РАН; Сибирское отделение РАН; ФГУ РНЦ «Курчатовский институт»; Институт кристаллографии имени А.В. Шубникова РАН; ФГУП «Научно- исследовательский центр поверхности и вакуума»; Институт ядерной физики имени Г.И. Будкера СО РАН; ФГУП «Государственный научно- исследовательский институт физических проблем имени Ф.В. Лукина»; Институт прикладной физики РАН; Объединенный институт ядерных исследований, Физико-технический институт имени А.Ф. Иоффе РАН; Институт общей физики РАН | ЗАО «НТ- МДТ», ФГУ РНЦ «Курчатовский институт»; Институт кристаллогра- фии имени А.В. Шубникова РАН, ЗАО «Научное и технологическое оборудование», ФГУП «Научно- исследовательск ий центр поверхности и вакуума»; Московский госу- дарственный университет имени М.В. Ломоносова; Институт ядерной физики имени Г.И. Будкера СО РАН; Институт общей физики РАН; ФГУП «Государственн ый научно- исследовательск ий институт физических проблем имени Ф.В. Лукина». |

Указанным организациям были отправлены предложения о вступлении в Сеть, от некоторых из них уже был получен положительный ответ.

С началом формирования Сети МФТИ приступил к работе с вошедшими в нее участниками. Так, было проведено уже два тренинга для сотрудников центров прогнозирования.

Первый из них прошел 19 октября 2011 года в Межведомственном аналитическом центре. Семинар на тему «Международный опыт проведения Форсайта для формирования видения будущего у российских игроков: общая рамка, инструменты, уроки, задачи на будущее» вели сотрудники Межведомственного аналитического центра Александр Александрович Чулок, Яков Николаевич Дранев и Юрий Вячеславович Симачев.

На семинаре присутствовали 9 сотрудников центра прогнозирования МФТИ. Обсуждались вопросы использования Форсайта в качестве инструмента формирования приоритетов и мобилизации специалистов для достижения качественно новых результатов в сфере науки и технологий, экономики, государства и общества. Были представлены различные определения Форсайта (Martin 1995, Keenan, Popper 2007). При этом подчеркивалась приоритетная значимость самого процесса формирования Форсайта, в первую очередь потому, что результаты Форсайта нуждаются в постоянном обновлении. Было отмечено, что необходимо сформировать культуру Форсайта, которая базируется на консенсусе участников.

Были приведены примеры отечественных форсайтных разработок, отмечен европейский опыт применения метода Форсайта. Для ряда Форсайт-проектов были указаны соответствующие интернет - ресурсы, на которых с данными проектами можно ознакомиться. Кроме того, были отмечены следующие интернет - ресурсы:

- Сеть европейских Форсайтов,
- Европейский региональный Форсайт,
- Институт исследований в области перспективных технологий Объединенного европейского исследовательского центра,
- Европейская форсайт-платформа,
- Европейские технологические платформы.

Был обсужден вопрос о наборе инструментария Форсайта. Экспертное мнение, творчество, взаимодействие и эмпирические данные являются важными элементами инструментария Форсайта. Соответственно существуют различные способы выбора методов. Наполнение методов ведется согласно заранее определенным этапам Форсайта. Например, важную роль играет экспертное мнение, соответственно, результат работы зависит от метода конвертирования их знаний.

Отмечены общесистемные моменты:

- Недостаточный уровень участия представителей отраслевых министерств и ведомств в формировании вариантов будущего,
- Варианты развития секторов нельзя рассматривать обособленно, без учета мировых тенденций и возможностей развития соответствующих рынков в глобальном контексте,
- Важным залогом реализации того или иного варианта развития сектора является наличие (в настоящее время и в будущем) субъекта, заинтересованного в реализации модели развития,
- Партнерство и характер участия различных сторон при формировании ДНТП пока представляется «усеченным».

Второй семинар 9 декабря 2011 года провели представители МФТИ для сотрудников отраслевых центров по долгосрочному прогнозированию в сфере науки и технологий. Среди слушателей были сотрудники вузов, уже подтвердивших свое участие в Сети или готовящихся к вступлению: МФТИ, ЮУрГУ, МИФИ, МИСиС, ТПУ, МИЭТ. Тренинг проходил дистанционно с использованием системы Adobesconnect, т.е. являлся по форме вебинаром.

Участники вебинара ознакомились с принятой методологией прогнозирования: мониторинга, Форсайта и построения технологических дорожных карт. Им были представлены основные содержательные результаты, полученные на тот момент времени. Наиболее актуальный и спорный вопрос, затронутый на вебинаре – это вопрос о мотивации вузов к вступлению в сеть прогнозирования. В ходе переговоров с ведущими вузами выяснилось, что основной формальный фактор мотивации к вступлению в Сеть – выполнение вузами – победителями конкурса в рамках 219-го Постановления Правительств условий госконтрактов в части работы в сфере прогнозирования – работает довольно плохо. Большинство ведущих вузов свои обязательства по этому Постановлению уже выполнили самостоятельно. Поэтому МФТИ была предложена своя структура мотивации к вступлению в Сеть для сторонних организаций:

1. Новые связи
2. Влияние на формирование долгосрочных программ
3. Компетенции в новой области
4. Заказы на подобные работы в будущем

Силами сотрудников центра прогнозирования МФТИ, а также экспертов МФТИ и его партнерских организаций, кроме описанных подвижек в формировании сети отраслевых центров прогнозирования и их инфраструктурного обеспечения, были достигнуты уже некоторые содержательные результаты.

В первую очередь для определения наиболее востребованных с научной точки зрения областей был проведен библиометрический анализ публикаций в российских индексируемых научных журналах. Статьи, входящие в тематический рубрикатор «Нанотехнологии и наноматериалы» научной электронной библиотеки eLibrary, были перегруппированы в соответствии с разработанным Классификатором. Для анализа рассчитывались такие параметры как общий объем публикаций по укрупненной теме классификатора за 2001 – 2011гг., уровень роста публикационной активности за 2007 – 2011гг., рассчитываемый по формуле (1):

$$G_n = N - 1 - N - 1$$

(1)

и скорость роста публикационной активности за 2007 – 2011гг., рассчитываемый по формуле (2):

$$V_n = \frac{G_n - G_{n-1}}{G_{n-1}} \quad (2)$$

По результатам анализа видно, что большая часть публикационной активности в сфере нанотехнологий по-прежнему приходится на теоретическое исследование физических процессов в наноматериалах. За 2001 – 2011гг. этому направлению было посвящено 671788 работ, относящихся к области классификатора 4.1 «Наноматериалы», включающей в себя следующие подтемы с максимальной публикационной активностью: 4.1.1.«Наноматериалы как объект изучения», 4.1.2 «Ансамбли нанообъектов», 4.1.2.2 «Нанотрубки и нанопроволоки», 4.1.3 «Наноструктуры», 4.1.4 «Объемные наноструктурированные материалы», 4.1.4.1.5 «Нанопленки и нанопокртия», 4.1.4.1.9 «Объекты традиционных технологий («нанопорошки», нанопористые материалы, золи, гели, эмульсии, наногетерогенные полимеры и т.д.)), а также 4.1.4.2.1 «Металлические материалы», 4.1.4.2.3 «Полимерные материалы», 4.1.4.3.1 «Конструкционные материалы» и 4.1.4.3.2 «Функциональные материалы».

Кроме того, по совокупному числу публикаций за последнее десятилетие с отрывом лидируют:

область 2.3 «Наноэлектроника: физические принципы и объекты новой цифровой наноэлектроники», в которой выделяются подтемы 2.3.1 «Полупроводниковые наногетероструктуры (квантовые точки и квантовые проволоки на основе двумерного электронного газа)» и 2.3.2 «Низкоразмерные углеродные структуры (нанотрубки, графен, фуллерены)»;

область 2.4 «Объекты для квантовых вычислений и квантовых телекоммуникаций», где основная доля публикаций приходится на подтемы 2.4.2 «Кубиты на основе электронных спинов в квантовых точках и фуллеренах» и 2.4.3 «Кубиты на основе электромагнитных ловушек для атомов и ионов».

Наибольший уровень роста числа публикаций в 2007 г. демонстрируют два направления: 2.3 «Наноэлектроника: физические принципы и объекты новой цифровой наноэлектроники» и 2.4 «Объекты для квантовых вычислений и квантовых телекоммуникаций», причем их коэффициенты роста на порядок превосходят аналогичные показатели по другим областям. Это наблюдение вместе с высоким фактическим уровнем публикационной активности дает основания признать области 2.3 и 2.4 одними из наиболее быстро развивающихся.

В 2008г. хорошую динамику продемонстрировала область 2.5 «Наноэлектронные источники и детекторы», за 2009г. – область 4.3 «Нанопотоника», за 2010г. – область 4.4 «Нанобиотехнологии», за 2011г. – область 2.10 «Микро- и нано-механика, нанотрибология и нанофлюидика», а по скорости роста в 2008г. – область 2.2 «Высокодисперсные, высокопористые и другие традиционные материалы, включающие субмикронные фрагменты».

Итак, на основании библиометрического анализа были выявлены две наиболее привлекательные с точки зрения научных перспектив темы, о развитии которых экспертами были подготовлены информационно-аналитические обзоры.

Первый из них был посвящен тематике **«Перспективные технологии и приборы наноэлектроники»**. В обзоре обсуждались основные тенденции развития электроники (в рамках и вне закона Мура), описывались наиболее развитые на сегодняшний момент и перспективные технологии наноэлектроники, такие как транзисторы с барьером Шоттки, транзисторы на основе графена, метки радиочастотной идентификации, пассивные

электронные устройства. Также был дан краткий обзор мирового и российского рынка нанoeлектроники, более детально рассматривались основные рынки сбыта и финансовые результаты крупнейшего российского производителя – ОАО «Ситроникс».

В результате анализа были получены некоторые интересные результаты. Во-первых, как утверждают эксперты, развитие электронной промышленности в ближайшее время будет идти не только по пути уменьшения размеров отдельных элементов цифровых схем. Вторым важным направлением развития электроники будет разработка и производство систем, направленных на взаимодействие с окружающей средой. Эти системы в «Международной карте» объединены общим термином “MorethanMoore systems” (системы, развитие которых идет вне закона Мура). К ним относятся:

- Сенсоры и преобразователи сигналов;
- Аналоговые схемы и высокочастотная электроника;
- Биологические чипы;
- Высоковольтная электроника

и многие другие системы, выходящие за рамки цифровой электроники.

Поскольку создание конкурентоспособного производства классических приборов кремниевой электроники в России представляется затруднительным (микроэлектронику в России представляет единственное предприятие ОАО «Ситроникс»), видится целесообразным направить усилия предприятий на разработку именно “MorethanMoore” – систем. Возможно также производство цифровых схем на альтернативных кремниевой электронике принципах, напр., создание транзисторов с управляемым барьером Шоттки.

При этом, как утверждают эксперты, нанотехнологии представляют собой отрасль, в которой развитие прорывных технологий невозможно без необходимого уровня овладения базовыми технологиями. Этот факт необходимо учитывать при формировании отраслевой стратегии развития.

Темой второго информационно-аналитического обзора были **«Объекты для квантовых вычислений и квантовых телекоммуникаций»**. В отчете были обозначены основные направления, по которым развиваются современные квантовые телекоммуникации и квантовая информатика. Сразу стоит оговориться, что квантовый компьютер не должен вытеснить классический. Его предполагается использовать на классе подзадач, где применение квантовых принципов дает столь существенное

ускорение, что позволяет решать задачи, считавшиеся неразрешимыми в классике из-за немыслимо больших временных затрат. К таким задачам относится задача факторизации (представление числа в виде произведения простых сомножителей), реализуемая с помощью алгоритма Шора, реализация алгоритма поиска Гровера и др.

Возможность реализации этих базовых алгоритмов, а также принципиальные физические свойства квантового компьютера позволят в будущем моделировать квантовомеханические процессы. Это очень важное с научной точки зрения приложение, однако еще далекое от реализации.

На сегодняшний день наиболее важной и сложной задачей квантовых телекоммуникаций является создание элементной базы квантовых компьютеров, удовлетворяющих пяти известным критериям ДиВинченцо:

- 1) Создание двухуровневых частиц-кубитов, на которые можно было бы в ходе вычислений избирательно воздействовать поодиночке или попарно и таким образом организовать их квантовую эволюцию, соответствующую выполняемому алгоритму.
- 2) Инициализация – приготовление многокубитного входного регистра в исходном основном базисном состоянии $|00\dots 0\rangle$.
- 3) Необходимо обеспечить помехоустойчивость вычислительных процессов и максимальное подавление эффектов декогерентизации квантовых состояний, обусловленных взаимодействием системы кубитов с окружающей средой.
- 4) Универсальная логика.
- 5) Измерение.

В настоящее время предложено достаточно много физических реализаций квантовых битов, однако ни для одной из известных систем не найдено способа удовлетворить всем критериям ДиВинченцо. Наиболее активно сейчас исследуются следующие физические реализации: сверхпроводниковые кубиты, кубиты на основе электронных спинов в квантовых точках и фуллеренах, кубиты на основе электромагнитных ловушек для атомов и ионов, одноэлектронные (зарядовые) кубиты. Основные результаты, достигнутые для различных реализаций квантового компьютера, приведены в таблице 3.

Таблица 3. Сравнение различных схем реализации квантового компьютера

| | Нейтральные атомы | Ионы | Сверхпроводниковые кубиты | Спины в твёрдом теле |
|--|-----------------------------------|-----------------------------------|---------------------------|----------------------------------|
| Число запутанных кубитов | 2 | 14 | 4 | 3 |
| Точность выполнения однокубитовых операций | 99% | 99% | 99% | 99% |
| Точность выполнения двухкубитовых операций | 64% | 99,3% | 90% | 90% |
| Эффективность измерения | 99,9% | 99,9% | 95% | 99% |
| Время релаксации T_1 | ~1 с | >20 мс | 10 мкс | ~1 с |
| Время декогеренции T_2 | ~40 мс | 1000 с | 20 мкс | 200 мкс |
| Максимальное число однокубитных операций | ~ 10^4 | ~ 10^{13} | ~ 10^5 | ~ 10^3 - 10^6 (NV-центры) |
| Максимальное число двухкубитных операций | ~ $4 \cdot 10^4$ | $2 \cdot 10^2 - 2 \cdot 10^4$ | >100 | -- |
| Интерфейс | Фотоны, сверхпроводниковые кубиты | Фотоны, сверхпроводниковые кубиты | Фотоны, атомы, ионы | Фотоны |

Т.к. по наиболее важному параметру – числу операций, которые могут быть выполнены за время когерентности – все перечисленные реализации практически совпадают, можно констатировать, что все они могут считаться перспективными и нуждаются в дальнейшей проработке.

Что касается достижений в области создания hardware квантовых компьютеров, ключевыми можно считать создание многочастичных запутанных состояний, выполнение небольших квантовых алгоритмов, реализация квантовой коммуникации посредством кубит-фотонного интерфейса и т.д. Особое место в физической реализации квантового компьютера занимает канадская компания D-Wave. В 2007 г. был продемонстрирован 16-кубитный, а в 2011 г. 128-кубитный регистр. В твердотельном исполнении реализуются сверхпроводящие потоковые кубиты и схема считывания, которые в настоящее время лишь проявляют квантовые свойства и пригодны для нахождения основного состояния спиновой модели Изинга. Как отмечают сами создатели, регистр подвержен декогерентизации и требует дальнейшей проработки. Результатом такой доработки может действительно стать квантовый процессор, работающий по адиабатическому алгоритму, однако в настоящее время полноценного крупномасштабного квантового

компьютера не продемонстрировано, а представлены лишь 8 кубитов, которые, как заявляют авторы, возможно позволят найти более эффективные подходы к решению определённых задач комбинаторной оптимизации.

Что касается географии исследований, ведущие научные группы экспериментаторов работают в Европе, США, Канаде и Японии. Достижения российских ученых лежат в основном в плоскости изучения физических принципов функционирования элементов квантовых компьютеров и теоретического исследования квантовых протоколов.

Однако реализация полномасштабного квантового компьютера считается долгосрочной задачей, поэтому у российских исследователей есть некоторое время для преодоления отставания. Проведение экспериментальных работ планируется начать в ближайшее время в рамках Российского квантового центра в Сколково.

Еще одной областью применения квантовой информатики служит квантовая криптография. Это наиболее прикладная и хорошо изученная область с очевидным потенциалом коммерциализации. Надежность квантовой криптографии гарантируется принципиальными физическими ограничениями (невозможность клонирования квантового состояния). В настоящее время предложено и осуществлено несколько протоколов квантовой криптографии, а в 2004 г. в Вене был осуществлен первый в мире банковский квантово-криптографический перевод.

Основной целью исследований в этой области будет увеличение расстояния передачи данных при минимизации ошибок. Основной сферой коммерческого применения квантовой криптографии в настоящее время видится безопасность банковских операций. Хотя, очевидно, с развитием технологии спектр потребителей будет расти.

На основании проведенной аналитической работы МФТИ сформулировал следующие предложения по корректировке структуры подпрограммы 2 «Прикладные проблемно-ориентированные исследования и развитие научно-технологического задела в области перспективных технологий» мероприятие 2.1 «Финансирование прикладных исследований по приоритетным направлениям науки и технологий проекта государственной программы «Развитие науки и технологий на 2013-2020 г.г.»:

1. **Ввести** в подпрограмму 2, мероприятие 2.1 новое направление «2.1.8. Нанотехнологии и наносистемы» со следующим списком мероприятий:

- 2.1.8.1. Нанoeлектроника

2.1.8.2. Нанопотоника и нелинейная оптика

2.1.8.3. Бионанотехнологии и гибридные материалы

2.1.8.4. Нано- и микросистемная техника

2.1.8.5. Углеродные наноструктуры

2.1.8.6. Метрологическое обеспечение нанотехнологий и стандартизация продукции nanoиндустрии

2.1.8.7. Аналитическое и диагностическое оборудование для nanoиндустрии

2.1.8.8. Безопасность производств и продукции nanoиндустрии

2. **Исключить** из направления «2.1.2 Приоритетное направление «Новые материалы» мероприятия:

2.1.2.1 – Наноматериалы и нанотехнологии (перенести в другое место иерархии, см. выше)

2.1.2.7 – Гибридные материалы, нанобио- и микроэлектромеханические системы (перенести в другое место иерархии, см. выше)

3. **Включить** в направление «2.1.2 Приоритетное направление «Новые материалы» мероприятие:

2.1.2.x – Каталитические и мембранные материалы

Также экспертами были составлены описания важнейших технологических решений и инновационных продуктов и услуг, которые в данный момент активно развиваются в России или являются ключевыми для развития индустрии наносистем в мире. Эти темы НИР и НИОКР должны быть включены в программу в 2013-2020 гг. Примеры описаний представлены в таблице.

Таблица 4. Темы НИР и НИОКР предложенные для включения в программу в 2013-2020 гг.

| № | Мероприятие | Тема НИР или НИОКР | Описание возможных результатов (инновационные продукты / услуги / социально-значимые эффекты) |
|---|---------------------------------------|---|---|
| 1 | Мероприятие – 2.1.8.1. Нанозлектроник | Создание технологий высокоточной диагностики изделий нанотехники и их | Наносистемы для оборудования, оптоэлектроники, спинтроники, СВЧ-, ИК- и УФ-техники, систем |

| | | | |
|--|--|--|--|
| a | компонентов | Проектирование, изготовление макетов наносистем и их испытания | связи и радиолокации |
| Мероприятие – 2.1.8.3. Бионанотехнологии и гибридные материалы | Обнаружение и диагностика вирусов методами люминесцентной спектроскопии одиночных молекул | | Методика и аппаратура для оперативного обнаружения, распознавания и диагностики единичных вирусов. |
| Мероприятие – 2.1.8.3. Бионанотехнологии и гибридные материалы | Развитие методов нанодиагностики с использованием рентгеновского, синхротронного, нейтронного излучений, электронов, атомно-силовой, магнитно-силовой, оптической микроскопии и пр. Создание рентгеновских и терагерцовых лазеров | | Приборы, оборудование, системы для нанодиагностики, в том числе для биоорганических систем |
| Мероприятие – 2.1.8.3. Бионанотехнологии и гибридные материалы | Разработка технологий создания и применения гибридных (органо-неорганических) материалов. Разработка программно-методической и приборно-инструментальной базы системы обеспечения безопасности производства и использования нанобиоустройств | | Нанобиоустройства для целевой доставки лекарственных препаратов, системы и средства диагностики и лечения заболеваний, нано- и микророботы медицинского назначения |
| Мероприятие – 2.1.8.3. Бионанотехнологии и гибридные материалы | Создание технологий высокоточной диагностики человека на основе изделий нанотехники и их компонентов. Разработка технологий создания и использования нанобиоинфоматериалов. | | Наносистемы для диагностики состояния здоровья человека в режиме on-line, сенсорные устройства для телемедицины. |
| Мероприятие – 2.1.8.3. Бионанотехнологии и гибридные материалы | Создание нормативно-методической и приборно-инструментальной базы для контроля продуктов питания Проектирование, изготовление макетов наносистем и их испытания | | Наноустройства контроля продуктов питания |

| | | | |
|--|---|---|--|
| | <p>Мероприятие – 2.1.8.4. Нано- и микросистемная техника</p> | <p>Разработка технологий создания полупроводниковых наноструктур на основе кремния, композитов АЗВ5, А2В6 и других материалов, на квантовых ямах, квантовых проволоках, квантовых точках, структур с туннельно-прозрачными барьерами, фотонных кристаллов.</p> <p>Создание технологий получения двумерных многослойных структур из пленок нанометровой толщины.</p> | <p>Полупроводниковые наноструктуры</p> |
| | <p>Мероприятие – 2.1.8.5. Углеродные наноструктуры</p> | <p>Разработка технологий создания и производства фуллереноподобных материалов, углеродных нанотрубок, на-полненных фуллеренов и нанотрубок</p> | <p>Наноуглеродные материалы</p> |
| | <p>Мероприятие – 2.1.8.6. Метрологическое обеспечение нанотехнологий и стандартизация продукции nanoиндустрии</p> | <p>Сенсоры на основе одиночных излучающих квантовых объектов – флуоресцирующих молекул, квантовых точек, нанокристаллов</p> | <p>Методики использования одиночных излучающих квантовых объектов для обнаружения и распознавания различных химических соединений, био- и нанообъектов.</p> |
| | <p>Мероприятие – 2.1.8.7. Аналитическое и диагностическое оборудование для nanoиндустрии</p> | <p>Дальнеполевая оптическая нанодиагностика и сертификация материалов и структур по спектрам и люминесцентным изображениям одиночных молекул</p> | <p>Аппаратно-программный комплекс для нанодиагностики материалов методами спектромикроскопии одиночных молекул.</p> <p>Диагностика объемных материалов, инспекция поверхности, обнаружение наночастиц различной природы и химического состава.</p> <p>Методики нанодиагностики, в т.ч. алгоритмы и программное обеспечение.</p> <p>Аппаратура и методики для комплексной нанодиагностики материалов с использованием</p> |

| | | | |
|----------|--|--|---|
| | | | различных зондовых и оптических методик. |
| 1 | Мероприятие – 2.1.8.8. Безопасность производств и продукции наноиндустрии | Развитие наномембранных технологий Развитие нанолитографических технологий Разработка и освоение технологий синтеза нанокристаллических материалов | Методы и системы мониторинга окружающей среды, продукции и биообъектов на основе: сорбционных наноматериалов; наноструктурированных метаматериалов для создания уникальных сенсорных устройств; мембранных сепараторов наночастиц и устройств для их идентификации |
| 2 | Мероприятие – 2.1.8.8. Безопасность производств и продукции наноиндустрии | Развитие ЛИГА- и нанолитографических технологий | Высокочувствительные и высокоселективные сенсорные структуры на основе поверхностного плазмонного резонанса |
| 3 | Мероприятие – 2.1.8.8. Безопасность производств и продукции наноиндустрии | Создание биостанций и развитие ЛИГА-инанолитографических технологий | Ближнепольная оптическая микроскопия для исследования и идентификации биологических нанобъектов и молекулярных структурах |
| 4 | Мероприятие – 2.1.8.8. Безопасность производств и продукции наноиндустрии | Создание биохимических автоматизированных рабочих станции широкой направленности | Конструирование и производство биохимических автоматизированных рабочих станций |
| 5 | Мероприятие – 2.1.8.3. Бионанотехнологии и гибридные материалы | Создание бесклеточного синтеза белков, нуждающихся в кофакторах для адекватного сворачивания | Белковые препараты, заменяющие белки природного происхождения |
| 6 | Мероприятие – 2.1.8.3. Бионанотехнологии и гибридные материалы | Разработка технологий и получение лизата в промышленных масштабах | Малые пептидные препараты, ориентированные на терапевтическое использование |

Таблица 5. Список важнейших инновационных продуктов и услуг по направлению «Индустрия наносистем», относящихся к нескольким мероприятиям Программы.

| № п/п | Наименование инновационного продукта или услуги | Важнейшие технологические решения и их основные характеристики, имеющие определяющее значение для создания указанного продукта или услуги |
|----------|--|---|
| 1. | Наноструктурированные материалы для быстрорежущего инструмента с высокой твердостью | <p>Разработка технологии изготовления наноразмерных порошков оксидов металлов</p> <p>Разработка технологии введения наноразмерных порошков металлов в расплав сталей</p> <p>Определение параметров наноразмерных преципитатов оксидов металлов</p> |
| 2. | Материалы на основе нанопорошков | <p>Разработка технологий плазмохимического синтеза нанопорошковых материалов</p> <p>Разработка технологий формирования композиционных порошков с помощью механосинтеза</p> <p>Разработка технологий получения нанопорошков с помощью методов химического осаждения и золь-гель методом</p> <p>Разработка технологий механолегирования нанопорошками оксидов металлов и изготовление дисперсно-упрочненных оксидами сталей</p> |
| 3. | Композиционные наноматериалы с улучшенными свойствами, в том числе с высокой длительной прочностью при повышенных температурах и стойкостью к набуханию в условиях нейтронного облучения | <p>Разработка композиционных материалов с металлической матрицей</p> <p>Создание композиционных материалов с керамической матрицей</p> <p>Создание композиционных материалов с полимерной матрицей</p> |
| 4. | Композиционные нанокерамические покрытия | Создание технологий получения функционально-градиентных покрытий для преобразования химической энергии в электрическую и тепловую |

| | | |
|-----|---|--|
| | | Разработка технологий формирования функциональных покрытий методом химического осаждения (в виде сложных оксидов, интерметаллидов, соединений типа «металл-неметалл») |
| 5. | Функциональные покрытия | Создание наноструктурированных высокопрочных, высокотвердых, термо- и жаропрочных, коррозионно-, радиационноустойчивых покрытий нового поколения |
| 6. | Наноуглеродные материалы | Разработка технологий создания и производства фуллереноподобных материалов, углеродных нанотрубок, наполненных фуллеренов и нанотрубок |
| 7. | Синтетические сверхтвердые материалы, наноалмазы и алмазоподобные материалы | Разработка технологий и оборудования для создания и производства сверхтвердых материалов |
| 8. | Наномембраны, нанокатализаторы, нанoadсорбенты | Разработка технологии изготовления наноразмерных мембран, катализаторов, адсорбентов |
| 9. | Высокоэффективные наноматериалы для энергетики | Создание наноструктурированных радиационноустойчивых и малоактивируемых материалов |
| 10. | Полупроводниковые наноструктуры | Разработка технологий создания полупроводниковых наноструктур на основе кремния, композитов АЗВ5, А2В6 и других материалов, на квантовых ямах, квантовых проволоках, квантовых точках, структур с туннельно-прозрачными барьерами, фотонных кристаллов |
| | | Создание технологий получения двумерных многослойных структур из пленок нанометровой толщины |
| 11. | Наноматериалы на основе гетероструктур | Разработка технологий СВЧ-устройств на основе гетероструктур |
| | | Разработка гетероструктур и наноструктур с квантовыми точками, ямами и других квантовых явлениях |

4. Ключевые бенефициары (потребители)

Как уже подчеркивалось, к долгосрочному отраслевому прогнозированию проявляют должный интерес как органы государственной власти, так и производственные компании.

Очевидно, что основным потребителем результатов данного прогноза будет заказчик – Министерство образования и науки РФ.

Во-первых, полученные в ходе выполнения НИР предложения по важнейшим результатам и ключевым НИР и НИОКР послужат базой для формирования тематик госпрограмм и распределения финансирования.

Во-вторых, сведения о перспективных технологиях и необходимых для их развития базовых технологиях требуются при составлении программ подготовки кадров, корректировке учебных планов. Ряд технологий «Индустрии наносистем» имеет шансы оказать влияние на структуру рынка труда, определить потребность в специалистах определенной квалификации на долгосрочную перспективу. Эти результаты должны учитываться Министерством образования и науки при выстраивании стратегии развития высшего профессионального образования.

Также необходимо иметь в виду, что специфичность нанотехнологий заключается в очень весомых затратах на переоборудование производства при запуске новой продуктовой линейки. Поэтому сведения о перспективных технологиях и необходимом для их внедрения оборудовании должны также интересовать Министерство промышленности и торговли для планирования закупок в рамках реализации программ развития госкомпаний.

Среди предприятий реального сектора к прогнозу должны проявить интерес профильные технологические платформы. Информационно-аналитические материалы, полученные в рамках прогноза, могут использоваться ими при формировании стратегической программы исследований. Поскольку нанотехнологии представляют собой междисциплинарное направление, круг потенциальных бенефициаров среди ТП достаточно широк: Медицина будущего, Инновационные лазерные, оптические и оптоэлектронные технологии – фотоника, Развитие российских светодиодных технологий, Применение инновационных технологий для повышения эффективности строительства, содержания и безопасности автомобильных и железных дорог, Новые полимерные композиционные материалы и технологии и др.

Использовать результаты долгосрочного отраслевого прогноза должны также координаторы реализации программ инновационного развития госкомпаний. На сегодняшний день компании, реализующие ПИР, редко обращаются к технологиям наноиндустрии, причем эта отрасль оказывается у них неинвестоемкой. По числу контрактов, заключенных в прошлом году предприятиями, реализующими ПИР, лишь 1,9 % относились к области наносистем, а по сумме контрактов «нанотехнологические» получили 1,7% от общего объема. Опираясь на данные отраслевого прогноза, госкомпании смогут уменьшить риски при внедрении тех или иных элементов нанотехнологий. Что позволит для них увеличить инвестоемкость этой потенциально привлекательной отрасли.

Кроме того, результаты прогноза будут очевидно использоваться предприятиями – производителями и потребителями продукции нанотехнологий при формировании своей корпоративной стратегии.

5. Эксперты-участники НИР

На настоящий момент свое согласие о вступлении в сеть прогнозирования выразили 50 российских и зарубежных экспертов высшей категории:

Таблица 6. Эксперты – участники сети прогнозирования на декабрь 2011г.

| ФИО | | | Место работы | Индекс цитирования | Индекс Хирша |
|--------------|-----------|--------------|---|--------------------|--------------|
| Аверкиев | Никита | Сергеевич | Физико-технический институт имени А. Ф. Иоффе РАН | 1065 | 14 |
| Агранович | Владимир | Моисеевич | Институт спектроскопии РАН | 1843 | 24 |
| Акишев | Юрий | Семенович | ГНЦ РФ ТРИНИТИ | 573 | 14 |
| Алешкин | Владимир | Яковлевич | Институт физик и микроструктур РАН | 562 | 11 |
| Анисимов | Владимир | Ильич | Институт физики металлов УрО РАН | 8953 | 39 |
| Антонов | Владимир | Евгеньевич | Институт физики твёрдого тела РАН | 458 | 12 |
| Аронзон | Борис | Аронович | ФГУ РНЦ "Курчатовский институт" | 341 | 10 |
| Арсеев | Петр | Иварович | Физический институт имени П. Н. Лебедева РАН | 87 | 5 |
| Атауллаханов | Фазоил | Иноятович | Гематологический научный центр РАМН | 1230 | 21 |
| Бельков | Василий | Валентинович | Физико-технический институт имени А. Ф. Иоффе РАН | 973 | 16 |
| Богачев | Александр | Валерьевич | - » имени С. П. Кор | 728 | 17 |

| ФИО | | | Место работы | Индекс цитирования | Индекс Хирша |
|------------|-----------|----------------|--|--------------------|--------------|
| | | | олёва | | |
| Бражкин | Вадим | Вениаминович | Физики высоких давлений институт РАН | 1985 | 24 |
| Буланов | Сергей | Владимирович | Kansai Photon Science Institute, Japan | 6891 | 40 |
| Васильев | Александр | Николаевич | СПбГЭТУ «ЛЭТИ» | 2545 | 18 |
| Виноградов | Андрей | Дмитриевич | МГУ | 1331 | 22 |
| Гантмахер | Всеволод | Феликсович | Институт физики твёрдого тела РАН | 356 | 10 |
| Гельфанд | Михаил | Сергеевич | Methodist University Hospital, USA | 5554 | 37 |
| Гиппиус | Николай | Алексеевич | LASMEA, Clermont Université, Université Blaise Pascal, France | 1780 | 22 |
| Гусев | Николай | Борисович | МГУ | 1081 | 21 |
| Долгополов | Валерий | Тимофеевич | Институт физики твёрдого тела РАН | 1552 | 21 |
| Евгеньев | Михаил | Борисович | Институт молекулярной биологии имени В. А. Энгельгардта РАН | 759 | 12 |
| Звездин | Анатолий | Константинович | Институт общей физики им. А. М. Прохорова РАН | 2262 | 21 |
| Зеленый | Лев | Матвеевич | Институт космических исследований РАН | 2268 | 25 |
| Ирхин | Валентин | Юрьевич | Институт Физик и Металлов УрО РАН | 833 | 16 |
| Каган | Мирон | Соломонович | Институт радиотехники и электроники им. В. А. Котельникова РАН | 426 | 11 |
| Кведер | Виталий | Владимирович | Институт физики твёрдого | 679 | 12 |

| ФИО | | | Место работы | Индекс цитирования | Индекс Хирша |
|-------------|-----------|--------------|--|--------------------|--------------|
| | | | тела РАН | | |
| Климов | Вячеслав | Васильевич | Физический институт имени П. Н. Лебедева РАН | 2109 | 25 |
| Копнин | Борис | Павлович | Российский Онкологический Научный Центр им.Н.Н.Блохина | 784 | 17 |
| Кукушкин | Игорь | Владимирович | Институт физики твёрдого тела РАН | 1498 | 19 |
| Кулаковский | Владимир | Дмитриевич | Институт физики твёрдого тела РАН | | - |
| Куприянов | Михаил | Юрьевич | МГУ | 1745 | 20 |
| Курганов | Борис | Иванович | Институт биохимии им. А.Н.Баха РАН | 1145 | 18 |
| Курмаев | Эрнст | Загидович | Институт физики металлов УрО РАН | 2264 | 24 |
| Латышев | Юрий | Ильич | Институт радиотехники и электроники им.В.А.Котельникова РАН | 1226 | 19 |
| Лозовик | Юрий | Ефремович | МФТИ | 3023 | 27 |
| Лукиянов | Сергей | Анатольевич | Институт биоорганической химии и им. академиков М.М.Шемякина и Ю.А.Овчинникова РАН | 3593 | 24 |
| Малеев | Сергей | Владимирович | Петербургский институт ядерной физики. им. Б.П.Константинова | 702 | 14 |
| Махлин | Юрий | Генрихович | МФТИ | 2859 | 16 |
| Мельников | Александр | Сергеевич | Институт физики и микроструктур РАН | 512 | 10 |

| ФИО | | | Место работы | Индекс цитирования | Индекс Хирша |
|------------|-----------|--------------|---|--------------------|--------------|
| Мирлин | Александр | Давидович | Institut für Nanotechnologie, Forschungszentrum Karlsruhe, Германия | 4157 | 35 |
| Напартович | Анатолий | Петрович | ГНЦ РФ ТРИНИТИ | 1839 | 22 |
| Недоспасов | Сергей | Артурович | German Rheumatism Research Center, Германия | 3775 | 33 |
| Пудалов | Владимир | Моисеевич | МФТИ | 2866 | 24 |
| Рахманов | Александр | Львович | Advanced Science Institute, Япония | 1111 | 17 |
| Рязанов | Валерий | Владимирович | Вычислительный центр РАН им. Н.Е. Дородницына. | 1181 | 14 |
| Смирнов | Александр | Иванович | НГТУ | 1491 | 7 |
| Соколов | Александр | Иванович | СПбГЭТУ «ЛЭТИ» | 651 | 15 |
| Сурис | Роберт | Арнольдович | Virginia Polytechnic Institute and State University, США | 1443 | 19 |
| Тимофеев | Владислав | Борисович | Институт физики твёрдого тела РАН | 1501 | 20 |
| Тиходеев | Сергей | Григорьевич | Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН | 1626 | 22 |
| Устинов | Владимир | Васильевич | Институт физики металлов УрО РАН | 585 | 13 |
| Фейгельман | Михаил | Викторович | МФТИ | 6022 | 18 |
| Шабаев | Владимир | Моисеевич | СПбГУ | 2736 | 31 |
| Шатский | Иван | Николаевич | МГУ | 2541 | 22 |

6. Библиография

1. “More than Moore” white paper” from International Roadmap for semiconductor technology: <http://www.itrs.net/Links/2010ITRS/IRC-ITRS-MtM-v2%203.pdf>;
2. СандипЛахири «RFID. Руководство по внедрению»;
3. Yu-Ming Lin. ‘Recent progress on high frequency graphene devices’. ISGD 2010 – bookofabstracts;
4. H. Hibino et. al. “Growth, structure and transport properties of epitaxial graphene on SiC”. ISGD 2010 – bookofabstracts;
5. J.P. Polizzi, L Duraffourg, E Ollier “NEMS for sensing the world”, Rusnanoforum-2011, Book of abstracts;
6. Сайт «Русской ассоциации МЭМС»: <http://www.mems-russia.ru>;
7. C. Urban, C. Sandow a, Q.-T. Zhao a, J. Knoch b, S. Lenk a, S. Mantl “Systematic study of Schottky barrier MOSFETs with dopant segregation on thin-body SOI” Solid-State Electronics 54 (2010) 185–190;
8. D. Svintsov, V. Vyurkov, V. Ryzhii, T. Otsuji “Effect of “Mexican Hat” on graphene bilayer Field-Effect transistor characteristics”, JJAP, 2010;
9. Final worldwide revenue ranking for the top-25 semiconductor suppliers-2010: <http://www.isuppli.com/PublishingImages/Press%20Releases>;
10. A. Orlikovsky, V. Vyurkov, V. Lukichev, I. Semenikhin and A. Khomyakov “All Quantum Simulation of Ultrathin SOI MOSFETs”, NATO Science for Peace and Security Series B: Physics and Biophysics, 2007, Part 4, 323-340.
11. Исследования DataMonitor
12. Годовой отчет Открытого Акционерного Общества «Ситроникс» по итогам 2010г.
13. Бауместер Д., Экерт А., Цайлингер А. (ред). Физика квантовой информации. – М.: ПостмаркетМир, 2002.
14. Валиев К.А. Квантовые компьютеры и квантовые вычисления // Успехи физических наук, том 175, с. 3-39 (2005).

15. Нильсен М., Чанг И. Квантовые вычисления и квантовая информация: Пер. с англ. – М.: Мир, 2006.
16. Холево А.С. Квантовые системы, каналы, информация. – М.: МЦНМО, 2010.
17. D. Loss and D. P. DiVincenzo. Quantum computation with quantum dots // Phys. Rev. A, 57, 120-126 (1998).
18. J. M. Chow, L. DiCarlo, J. M. Gambetta, A. Nunnenkamp, L. S. Bishop, L. Frunzio, M. H. Devoret, S. M. Girvin, and R. J. Schoelkopf, Entanglement metrology using a joint readout of superconducting qubits (2009), arXiv:0908.1955.
19. H. W. Liu, T. Fujisawa, H. Inokawa, Y. Ono, A. Fujiwara, and Y. Hirayama, A gate-defined silicon quantum dot molecule, Appl. Phys. Lett. 92 (2008).
20. Wurtz P, Langen T, Gericke T, Koglbauer A and Otto H 2009 Experimental demonstration of single-site addressability in a two-dimensional optical lattice Phys. Rev. Lett. 103 080404
21. A European roadmap for photonics and nanotechnologies, MONA;
22. Technology roadmap for crystalline silicon (c-Si) photovoltaics (PV);
23. The International Technology Roadmap for Semiconductors;
24. Roadmap for Organic and Printed Electronics.
25. Российская академия наук: Прогноз научно-технологического развития Российской Федерации на долгосрочную перспективу (до 2030 года) (проект), 2008 год.
26. Upgrade: Foresight strategy and actions to assist regions of traditional industry towards a more knowledge based economy. – Brussels: European Commission, 2004, 39 p.
27. Комков Н.И., Ерошкин С.Ю. Методические основы прогнозирования технологического развития. Журнал «Научные труды: Институт народнохозяйственного прогнозирования РАН». 2006. Т. 4. С. 176-206.
28. Ксенофонов М.Ю. Теоретические и прикладные аспекты долгосрочного прогнозирования. Журнал «Проблемы прогнозирования». 2002. № 2. С. 1-30.
29. Соколов А.В. Форсайт: взгляд в будущее. Журнал «Форсайт». 2007. № 1. С. 8-15.